REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK

Kiemelt közlemények

PETRA KOVÁCS: Women serving in the Royal Air Force (1938–1944)

ZOLTÁN DUDÁS: Interpretations of Human Error in Aviation

BALI TAMÁS: A hazai légi kutatás-mentés átalakulása a H145M helikopter hadrendbe állításával

33. évf. (2021)
1. szám

HU ISSN 1417-0604 (nyomtatott)
HU ISSN 1789-770X (elektronikus)

LUDOVIKA
EGYETEMI KIADÓ

IMPRESSZUM

Repüléstudományi Közlemények
Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar tudományos kiadványa

Elektronikus kiadás
HU ISSN 1789-770X

Nyomtatott kiadás
HU ISSN 1417-0604

A szerkesztőbizottság elnöke
Prof. Dr. Óvári Gyula (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

A szerkesztőbizottság tagjai
Dr. Dunai Pál (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Dr. Bottyán Zsolt (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Dr. Kavas László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Prof. Dr. Makkay Imre (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Prof. Dr. Pokorádi László (Óbudai Egyetem)
Dr.h.c. doc. Ing. Stanislav Szabo, PhD., MBA, LL.M. (Kassai Műszaki Egyetem, Szlovákia)
Dr. Palik Mátyás (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Prof. Dr. Szabolcsi Róbert (Óbudai Egyetem)
Dr. Szilvássy László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

Főszerkesztő
Dr. Békési Bertold (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

Szerkesztőség
Dr. Békési Bertold (Nemzeti Közszolgálati Egyetem) főszerkesztő
Dr. Szilvássy László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem) szerkesztő
Törőcsik Tímea (Nemzeti Közszolgálati Egyetem) szerkesztőségi titkár
Szerkesztőség címe: 5008 Szolnok, Kilián út 1.
Levelezési címe: 5008 Szolnok, Pf. 1.
e-mail: RepTudKozl@uni-nke.hu

Kiadó
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Ludovika Egyetemi Kiadó Iroda
1083 Budapest, Ludovika tér 2.
kiadvanyok@uni-nke.hu • +36 1 432 9000
A kiadásért felel: Koltay András rektor
Borítókép: a képet a MH 86. Szolnok Helikopter Bázis munkatársai készítették.

Tartalom

Vas Tímea, Békési Bertold, Sári János, Kele Katalin, Magyar Martin, Szabó Richárd: A mesterséges intelligencia alkalmazhatósága a modern kori repülésben 5

Petra Kovács: Women serving in the Royal Air Force (1938–1944) 19

Sándor Zsolt, Pusztai Máté: A hazai pilóta nélküli légijármű-rendszerekre vonatkozó szabályozás EU-s jogszabályoktól való eltéréseinek bemutatása 27

Felkai Péter: Az űrhajósok is karanténban voltak 39

Zoltán Dudás: Interpretations of Human Error in Aviation 49

Bali Tamás: A hazai légi kutatás-mentés átalakulása a H145M helikopter hadrendbe állításával 59

Major Gábor, Tamás Miklós: Az atomerőművek drónokkal szembeni védettsége 69

Sándor Zsolt, Pusztai Máté: A hazai pilóta nélküli légi járművekkel kapcsolatos szabályozás összehasonlítása a többi uniós tagállam gyakorlatával 85

Sári János, Békési Bertold: Légi járművek közelségi és figyelmeztető rendszerei 97

Gábor Armand Dávid, Sziroczák Dávid: Nagynyomású földgáz mint tüzelőanyag a forgószárnyas repülőgépek világában 123

Békési Bertold, Sári János: A kriogenika felhasználhatósága a modern repülésben 137

Gajdács László, Palik Mátyás, Dudás Zoltán: Drónok és hagyományos légi járművek közös légtérben történő alkalmazásának repülésbiztonsági kockázatai . . 157

Csóré Attila, Major Gábor: A pilóta nélküli légi járművek (UAV) evolúciója 171

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
33. évfolyam (2021) 1. szám 5–18. • DOI: 10.32560/rk.2021.1.1

Vas Tímea, Békési Bertold, Sári János, Kele Katalin,
Magyar Martin, Szabó Richárd

A mesterséges intelligencia alkalmazhatósága a modern kori repülésben

A cikkben a szerzők az Air Traffic Management (ATM)[1] Student Invention Challenge keretein belül elért kutatási tevékenységüket ismertetik. A verseny feladataként a mesterséges intelligencia mint jövőbeli repüléstámogató és kiszolgáló technológia témáját választottuk és több a cikkben bemutatott aspektusát vizsgáltuk. A bevezetést, valamint a témához kapcsolódó, jelenleg is alkalmazott technológiák rövid ismertetését követően, a szerzők olyan kiaknázatlan lehetőségeket vázolnak fel, amelyek jelentős változást hozhatnak azoknak az innovatív megoldásoknak a területén, amelyek a repülés biztonságának és hatékonyságának biztosításához szükségesek. A szerzők célja ismertetni a lehetséges fejlesztési irányokat, a jelenlegi kutatások felhasználásának segítségével.

Kulcsszavak: *mesterséges intelligencia, humán tényező, logisztika, repülésbiztonság*

1. Bevezetés

A légi közlekedés és légijármű-ipar a világ dinamikus haladást mutató iparágai között szerepelnek [6]. A megnövekedett légi forgalom, valamint a költséghatékonyság és környezetvédelem előtérbe kerülésének következtében az érintett felek – repülőgépgyártók, repülőtér-üzemeltetők, légi forgalmi irányítók – számos kihívással néznek szembe. A repülőgépek rendszereinek állandó változása, egyúttal komplexebbé válása megköveteli a repülőgép-üzemeltetők folyamatos képzését és tudásuk szigorú ellenőrzését. Az ATM-alrendszerek egyre növekvő adathalmazokat kezelnek, míg azoknak a feldolgozására rendelkezésre álló idő a forgalom növekedésével akár csökkenhet is. Habár a légi forgalmat kiszolgáló személyek leterheltségének csökkentésére ma már léteznek számítógépes támogató rendszerek, még mindig előfordulhatnak olyan esetek, amikor a papír alapú kiadványok, dokumentumok és kézikönyvek átkutatása a bevett eljárás.

Figyelembe véve, hogy az emberi korlátok és a tűrőképesség határai csupán egy bizonyos fokig tolhatók ki, kérdés, hogy a megszerzett információmennyiséget meddig lesznek képesek megbízhatóan kezelni, a tudást meddig fogják biztonságosan alkalmazni a gyorsuló javítási és karbantartási ütemezésben, illetve a légi forgalom szervezésében a növekvő számú

[1] ATM (Air Traffic Management): Légiforgalom-szervezés.

és jelentőségű rizikófaktorok mellett. Ez a kérdés számos jelenlegi és jövőbeni problémával hozható kapcsolatba, amelyekre a megoldást véleményünk szerint a mesterséges intelligencia fejlődése és elterjedése fogja jelenteni.

A jelenlegi pandémiás helyzetben az átmenetileg csökkent légi forgalom mellett talán több lehetőségünk nyílik az újfajta elgondolások kidolgozására, megvalósítására, az alkalmazásukkor felmerülő hibák kiküszöbölésére.

2. Technológiai háttér

A mesterséges intelligencia a hagyományos rendszerek működését olyan módon képes kiegészíteni, hogy az önállóan tanulásra képes, ezáltal – külső beavatkozás nélkül fejleszt egy adott problémára megoldást – majd ezt a jövőbeni problémák megoldásakor is felhasználja. A feladatok, részfeladatok végrehajtásának hatékonyságát növelve és a hibalehetőségek kockázatát csökkentve a technológia képes több forrásból származó és az eddigieknél nagyobb mennyiségű információ feldolgozására is.

Napjainkban a mesterséges intelligencia képességei folyamatosan fejlesztés alatt vannak. Úgynevezett Weak-AI létrehozásával már sikerült megvalósítani azt, hogy bizonyos specifikus feladatokban a technológia képes lehet az emberi korlátok ledöntésére is. A hétköznapi ember számára is online egyik legelterjedtebb, MI-t használó szoftver a Google DeepMind AlphaGo nevű programja, amely egy Go nevű játékban addig elemzi a korábbi játszmák adatait, amíg képes legyőzni a szakavatott játékosokat is [5]. A beszédfelismerés és automatikus feliratozás alkalmazásában a Régens Zrt. Alrite szoftvere jár élen a magyarországi fejlesztői piacon. Ez a szoftver már képes több nyelven értelmezni az élőbeszédet és azt szöveges formában, felhőben tárolni [19]. A beszédfelismerés után érdemes egyből megemlíteni a GoogleLens nevű applikációt, amely a képfelismerő programok eddigi legjobbjai között szerepel [10]. E kettő ötvözésével pedig megszületett a DeepFake szoftver, amely nem csupán az ember beszédének és arcának felismerésére alkalmas, de elemezni és utánozni is képes azt. A kutatás eredményeképpen bármilyen szöveget és mimikát rámódosíthatunk egy adott személyre úgy, hogy csak nagyon nehezen vehető észre, hogy valójában nem az illető mondta az elhangzottakat [7]. Az egyik legnagyobb tudományos haladást mutató kutatás a drónok önálló útvonalkövetésére létrehozott „*Artificial Swarm Intelligence*" projekt, amelyet a hazai szakirodalomban mesterséges raj-intelligenciának hívnak. Jelenleg ennek a fejlesztésnek a katonai alkalmazásban van a legnagyobb kereslete [21].

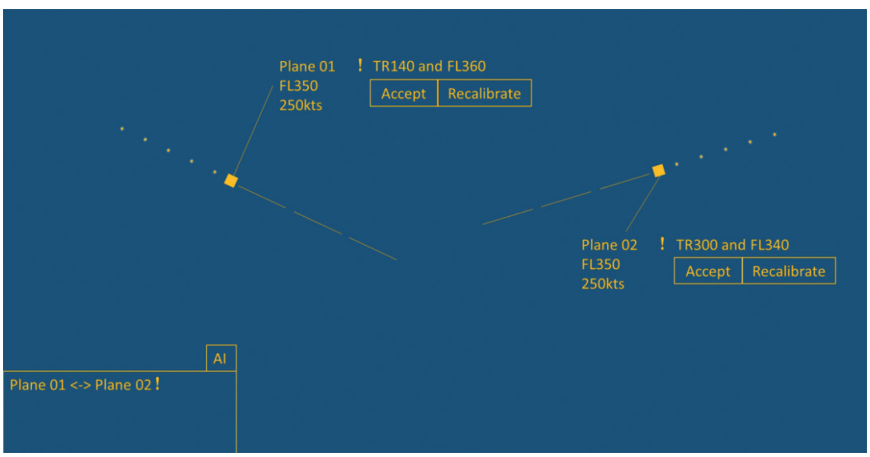
A mesterséges intelligencia felhasználása már nem új keletű a repülőtereken. A Heathrow termináljain egy program kamerák segítségével figyeli a kiszolgálási munkálatokat, ezzel csökkentve azokat a tényezőket, amelyek esetleges késéseket idéznének elő [14], [18]. A pittsburghi repülőtéren a mesterséges intelligencia szintén kamerákat használ az utasok sorban eltöltött idejének figyelésére, amely alapján kiszámolja, hogy a biztonsági ellenőrzésekre mennyi időt érdemes számolniuk [3]. A szingapúri repülőtéren mesterséges intelligencia szabályozza az utashidak mozgatását, míg Münchenben, Londonban (Gatwick) és Frankfurtban robotokkal segítik az utasokat a repülőtéri tájékozódásban és csomagszállításban [2], [9], [17], [20]. A British Airways egy szokatlan fejlesztésbe invesztált; az első osztályú járatain gépi intelligenciával működő kiszolgálást nyújtanak az utasok számára a koktélok kikeveréséhez [1], [19].

3. Mesterséges intelligencia mint asszisztens

A mesterséges intelligencia feladata a repülésben az, hogy az ember számára feldolgozhatatlan mennyiségű adatot úgy kezeljen, hogy a végső döntéshozót – azaz a pilótát, a repülésirányítót vagy a repülőműszaki személyzetet – a lehető legoptimálisabb döntés meghozatalában segítse, lerövidítve a reakcióidőt. Amikor azt tárgyaljuk, hogy egy mesteréges intelligenciával vezérelt szoftver támogatja a légi forgalomban részt vevő személyeket, felvetődnek bizonyos kérdések. Milyen mértékben engedünk számára befolyást az események alakításába? Végrehajthatja-e automatizáltan az általa meghozott önálló döntést? A meghozott döntések kinek a felelőssége alá tartoznak? A jelenleg folytatott kutatások alapján megállapítható, hogy a közeljövőben nem valószínű, hogy a mesterséges intelligencia teljes mértékben képes lesz az emberi munkaerő kiváltására olyan összetett feladatokban, mint például a légi forgalom irányítása, a légi járművekkel kapcsolatos műszaki feladatok elvégzése vagy légi jármű vezetése.

Elképzelésünk tehát az, hogy a veszélyt jelző és figyelmeztető rendszerek és a jelenleg jogszabályban előírt felelős személyek közötti lehetőségekkel dolgozzanak. Ennek megfelelően képesnek kell lennie: minden dolgozó számára asszisztensként funkcionálni a munkafolyamatok támogatásának érdekében; a megoldási alternatíva emberi jóváhagyását követően a veszélyhelyzetekre vagy a meghibásodásokra való reakcióra (lásd 1. ábra).

A mesterséges intelligencia segíthet a légi forgalom szervezésében, a személyzet felülvizsgálatában, valamint műszaki támogatást is nyújthat.



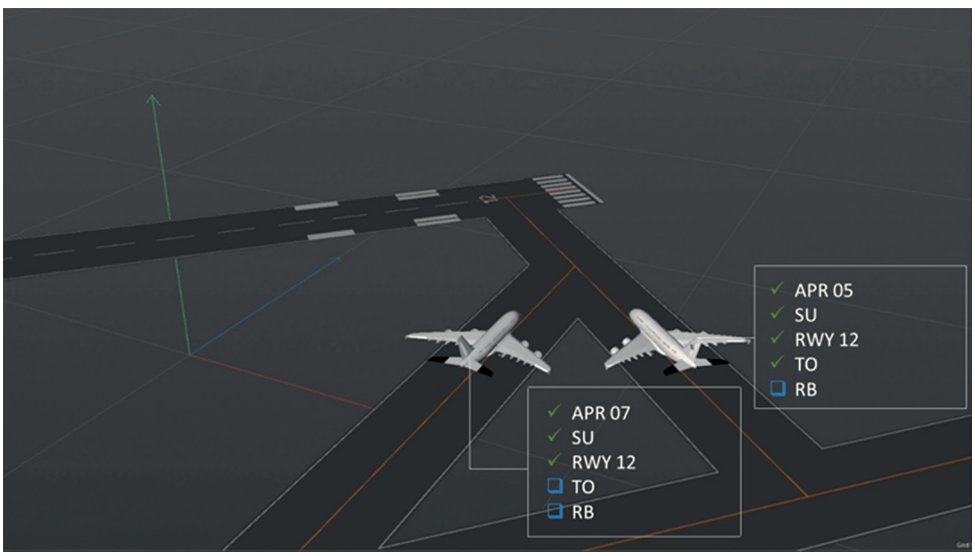
1. ábra
A mesterséges intelligencia alternatívát kínál a légi járművek elkülönítésére [Szabó Richárd szerkesztése]

4. Légi forgalom és légtérfelhasználás szervezése

A mesterséges intelligencia a repülőterek gurító irányítói számára a légi járművek földi mozgásának koordinálásában nagy segítségére lehet. A gurulóutak kiosztására több opciót is felvázolhat az elfogadott repülési tervekből, a légi járművek típusából és a repülőtér adottságaiból nyerve

információt. A gurító irányítók jóváhagyását követően megfigyeli az utasítások teljesítésének folyamatát (lásd 2. ábra). A kiadott engedélyek végrehajtásának meglétét nem csak ellenőrzi, de vizuálisan megjeleníti az irányító képernyőjén. A légi járművek érkezésekor kialakítandó sorrendet hasonló eszközökkel támogathatja. Az általa felajánlott opciók tervezésekor automatikusan figyelembe veszi a légi járművek turbulenciakategóriáját, a repülőtéren uralkodó időjárási viszonyokat, az ott telepített navigációs berendezések paramétereit (CAT I–III), és igazodik a hatékony áramlásszervezés alapelveihez. Összességében az ilyen értelemben vett terve az optimális koordinálásnak nemcsak a biztonságot hivatott szolgálni, de rengeteg időt is megtakarít minden fél számára. Ebben az iparágban pedig hatványozottan igaz, hogy az idő pénz [14].

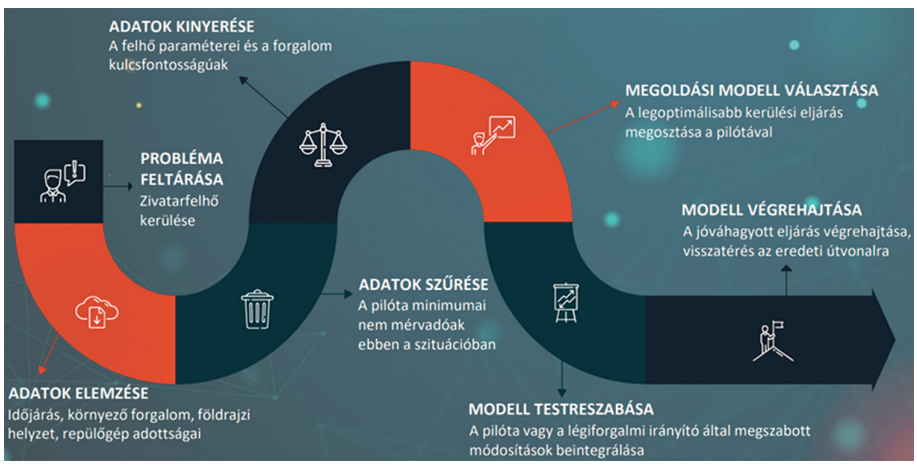
A hagyományos, hang alapú rádiókommunikációnak egyik kritikus mozzanata a légi forgalmi irányítók által kiadott engedélyek visszaolvasása és azok helyességének ellenőrzése. A kísérleti fázisban a légiforgalom-irányítói adatbázisból kiválasztott közleményváltásokat a megtanult szabályok alapján a gépi tanulási folyamat megismeri, és képes kiszűrni a helytelen, hibás visszaigazolási közleményeket. Elképzelhető az is, hogy a mesterséges intelligencia hangtónusából, hangszínéből fáradságra, bizonytalanságra következtet, és javaslatot tesz az újbóli visszaismétlésre. Ezzel segítve a félreértések elkerülését és figyelmetlenségből adódó veszélyes események kialakulását.



2. ábra
A kiadott engedélyek alapján a beszédfelismerő szoftver segíti a gurulóutak kiosztását [Sári János szerkesztése]

A légijármű-vezetők esetében kiemelten fontos, hogy a mesterséges intelligencia nemcsak egy adatbázis tartalmához fér hozzá, amelynek segítségével számításokat végez, hanem a repülőgép elektronikus rendszereihez is, így a szükséges változtatásokat (például sebességnövelés, magasságcsökkentés) végre is hajthatja. Egy példával szemléltetve (lásd 3. ábra): képzeljük el, hogy egy útvonalon repülő légi jármű vezetője megállapítja, hogy egy tornyos gomolyfelhő van előtte, amelyet ki kell kerülnie. A mesterséges intelligencia az adatbázisból megtanulta

a szabványosan alkalmazott zivatarkerülési eljárásokat és az azokkal járó kockázati tényezőket. A szoftver már előzőleg adatokat gyűjtött be a meteorológiai szolgálattól, és tájékozódott a helyszín földrajzi adottságairól. Tisztában van a környező légi forgalommal, amelyet a közeli repülőtereken és légterekben folytatott rádióforgalmazás elemzéséből és a jóváhagyott repülési tervek adatbázisából szűrt le. Ezenkívül profilozta a légi jármű személyzetének adatait – mint a tapasztalat, időjárási minimumok – és a repülőgép repülési tulajdonságait, valamint repülési és karbantartási előzményeit is. Továbbá számításba veszi, hogy milyen üzemanyag-felhasználással járnak az egyes kerülési lehetőségek, és hogy azok mennyi késést okoznának. Ezután a kerülésre tett javaslatait nem csupán a pilótával tudja megosztani, hanem azzal a szolgálattal is, amelytől az engedélyt meg kell kérnie az irányváltoztatásra. A pilóta jóváhagyásával a kerülést automatikusan végrehajtja – amelyhez a robotpilóta, az ACAS[2]/TCAS[3] vagy az FMS[4] rendszert is felhasználhatja –, majd eredeti útvonalára vezeti vissza a légi járművet. Legközelebb hasonló szituációban nem csak gyorsabban fogja felállítani a megoldási modellt, de annak egy kifinomultabb változatát lesz képes felajánlani a pilótának.



3. ábra

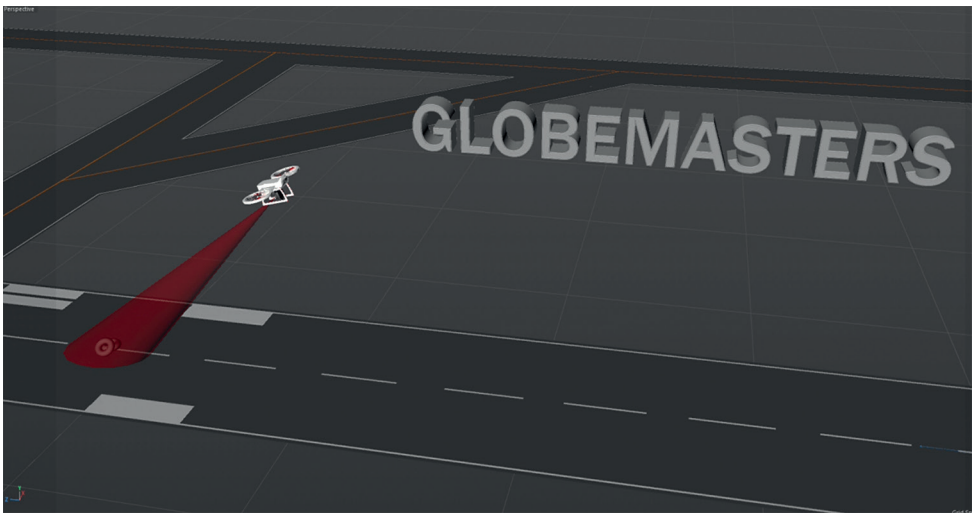
A mesterséges intelligencia mint asszisztens lehetséges rendszerszintű alkalmazhatósága [Kele Katalin szerkesztése]

Fontos megjegyezni, hogy a robotpilótához hasonlóan a mesterségesintelligencia-szolgáltatásnak is bármikor „kikapcsolhatónak" kell lennie, ekkor azonban az adatok begyűjtése és rendelkezésre bocsátása is szünetel. Egy légi katasztrófát követően a rendszer – a légi járműtől szerveresen térben elkülönülő – központi adatbázisában tárolt információk pótolhatnak egy elveszett fekete dobozt, hiszen a beszédfelismerés és kamerarendszerek folyamatos működtetése mellett a repülőgép teljes állapotát ellenőrzés alatt tartja.

A pilóta nélküli légi járművek repülése a repülőterek körzetében kontrollált körülmények között hozzájárulhat a futópálya-biztonság növeléséhez. A hőkamerás felvételek pontosíthatják

[2] ACAS *(Airborne Collision Avoidance System):* fedélzeti összeütközés-elkerülő rendszer.
[3] TCAS *(Traffic Alert and Collision Avoidance System):* forgalmi tájékoztató és összeütközés-elkerülő rendszer.
[4] FMS *(Flight Management System):* fedélzeti számítógépes vezérlő rendszer.

az időjárás feltérképezését. A futópálya mentén készült felvételek képi analízise hozzájárulhat a felszíneken elhelyezkedő idegen anyag (FOD)[5] – gumiabroncs vagy egyéb lehullott alkatrész – vagy madárraj jelenlétének észlelésében (lásd 4. ábra). Felismerhetők lehetnek a felületek állapotában beállt változások, repedések, a jegesedés. Ez a technológia a futópályafények megfigyelésére is alkalmazható. Az ilyen módon megállapított rendellenességről a mesterséges intelligenciát alkalmazó szoftver azonnali figyelmeztetést képes küldeni valamennyi érintett fél számára [21].



4. ábra
Pilóta nélküli légi jármű alkalmazása mint FOD-kereső, mesterséges intelligenciával kombinálva [Sári János szerkesztése]

5. Az emberi tényezők felülvizsgálata

Az emberi tényezőkkel kapcsolatban az egyik legnagyobb rizikófaktor a koncentrációképesség és az éberség megőrzése. A fáradtságfigyelő rendszerek elsősorban a pszichés és érzelmi állapot elemzését végzik egy vagy több kamera segítségével. A személygépjárművekben régóta működő rendszer a volán mögött ülő vezető arckifejezéseit és gesztusait, valamint kormánymozdulatait, a pedálok lenyomásának erősségét kíséri figyelemmel. Ha a rendszer úgy ítéli meg, hogy a vezetőnek pihennie kellene, akkor jelzi azt. Ezenfelül a többi rendszerrel kommunikálva olyan lépéseket tesz, amelyekkel csökkenthető a fáradtságérzet; például állít az üléspozíción, vagy változtat a hőmérsékleten.

Eleinte a vezérlőegység gyűjti és elemzi az adatokat, és meghatároz egy viselkedési stílust, emellett figyelembe veszi a külső körülményeket, például a napszakot, időjárást. Ezenkívül elemzi a pislogások gyakoriságát, a szemmozgásokat, az arckifejezéseket, a gesztusokat, a légzés gyakoriságát és mélységét a mellkas mozgásaiból. Az első 15–30 percben kialakul

[5] FOD – *Foreign Object Debris.*

egy profil, és az információk referenciává válnak; ezekhez hasonlítja a további beérkező adatokat. Ezek a profilok tárolhatók, majd a későbbiekben felhasználhatók, amennyiben ismét az adott egyén megfigyelésére kerül sor. Mindazonáltal a kezdeti megfigyelés nem maradhat el – mivel a kiindulási testi-lelki-érzelmi állapot minden alkalommal más és más – az időtartama azonban jelentősen megrövidül.

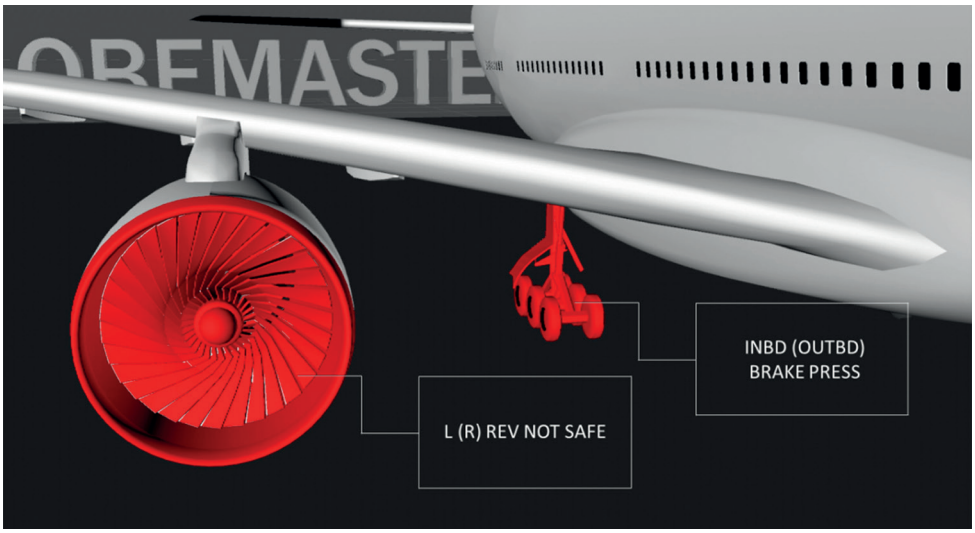
Hasonló rendszerek mind a pilótafülkében, mind az irányítóhelységekben alkalmazhatók. Ha a légi jármű vezetőjéről vagy a légi forgalmi irányítóról elkészül egy munkabírási és koncentrációs képességeket felmérő profil, akkor a légitársaság, valamint a munkahelyi vezető (*supervisor* – SW) emberierőforrás-kezelését nagyban optimalizálhatja.

A munkafolyamat közben a program megfigyelheti a légi forgalmi irányító reakcióidejének növekedését az egérmozdulatokon és a rádióforgalmazásokon keresztül. Továbbá észleli a beállt változásokat a személy hanghordozásában, testtartásában is. Amennyiben a rendszer arról tesz jelentést, hogy valamelyik munkaállomáson tartózkodó szakember tűrési képességének határához ért, az SW dönthet a váltások kialakításának rugalmas kezeléséről.

6. Műszaki támogatás

A szigorú biztonsági előírások, szabályok betartásának szükségességét szorgalmazza az a tény, hogy a légi közlekedési események számottevő része a repülőgépek hibás vagy figyelmen kívül hagyott karbantartási eljárása miatt következik be.

A légitársaságok számára a biztonság mellett prioritást élvez a költségoptimalizálás. Az eszközök, alkatrészek és berendezések a karbantartási kézikönyvben meghatározott élettartam lejárta előtt is meghibásodhatnak, veszíthetnek minőségükből, így könnyedén érheti a légitársaságot nem várt költség. Ennek egyik kiváltó oka lehet például a repülőgépben található berendezések állapotának nem megfelelő feltérképezettsége. A mesterséges intelligencia viszont megoldást nyújthat a problémára. Ha a szoftvere teljes és részletes hozzáféréssel rendelkezik a repülőgép valamennyi berendezéséhez, szenzorjához, elektromos hálózatához, akkor képes lesz átfogó és megbízható módon jelentést készíteni a légi jármű műszaki állapotáról, és a szakszemélyzet segítségére lesz a karbantartási tervezet elkészítésében (lásd 5. ábra). Mindezek mellett a mesterséges intelligencia vezérelheti a keresztellenőrzéseket a „duplikált" fedélzeti rendszereken. Ezáltal az üzembentartó mérnök hiteles információk alapján kezdheti meg a javítást.



5. ábra
Az esetleges meghibásodások lehetséges gépi szemléltetése [Sári János szerkesztése]

A repülőgépek műszaki adatainak – állapot, karbantartások időpontja – begyűjtése és tárolása is az üzemeltető mérnökök feladata, amelyeket a régebbi típusú légi járművek esetében jelenleg papír alapon rögzítenek és juttatnak el a megőrzési helyükre. Az elektronikus adatbázis használatával a repülőgépben felmerült hibákról tett jelentéseket, illetve az azoknak kiküszöbölésére tett intézkedésekről szóló jelentéseket automatikusan iktatni lehet azon a központi szerveren, amelyről a mesterséges intelligencia hozzáfér a számításaihoz szükséges adatokhoz.

Az alkatrészek és eszközök pótlása érdekében a mesterséges intelligencia képes rendelési tételsor összeállítására. Idővel felméri az adott állomás igényeit éves kimutatásokból tanulva, ezáltal minimalizálva a téves beszerzéseket. Az emberi jóváhagyás természetesen itt sem maradhat el, hiszen a szoftver ebben az esetben is intelligens asszisztensi feladatkörrel rendelkezik.

Ahogy azt már említettük, az egyszerűbb felépítésű mesterségesintelligencia-programokat már alkalmazzák egyes repülőtereken, például utashidak mozgatására vagy időtényezők számítására. Azonban a földi áramforrás (GPU),[6] állványok és egyéb olyan nagy méretű eszközök mozgatása, amelyek megkönnyítik a műszaki személyzet munkáját, még nem ennek a segítségével valósulnak meg. Ha a központi rendszer létrejön, a szoftver tisztában lesz a repülőgép pontos érkezésével, annak helyzetével, az elvégzendő munkálatokkal, az azokhoz szükséges felszerelésekkel, ezzel lehetővé téve a kiszolgáló állomány számára az azonnali munkába állást. Amikor a repülőműszaki személyzet megkezdi a feladatát, a szükséges karbantartási munkálatokról készült koordinálási terv már több változatban elkészült a mesterséges intelligencia által.

A légi jármű állapotát figyelve az úgynevezett *Self-Healing-Airplane* „öngyógyító" funkciója magasabb szintű kontroll alatt történhetne. A *Self-Healing-Airplane* technológia

[6] GPU *(Ground Power Unit):* földi áramforrás.

lényege, hogy a sárkányszerkezetben olyan kis méretű polimer tartalmú gömböket helyeznek el, amelyek – akár elektromossággal gerjesztett – hő hatására termikusan aktiválódnak, tehát elolvadnak. Az így kiömlő polimer a szerkezet mikrorepedéseit feltölti, ezáltal biztosítva annak megfelelő – a sérülés előtti állapothoz képest akár 70%-os – stabilitását. Az „öngyógyító" anyagok közé tartozhatnak továbbá a különféle kerámia- (CMC),[7] valamint fém- (MMC)[8] mátrix kompozitok [15].

7. Információbiztonság és architektúra

Elképzelésünk szerint egy olyan rendszer megvalósítása lenne célszerű, amely a légi forgalomban részt vevő minden személy számára online-ná tenné a tudást ahhoz, hogy az adott pillanatban, az adott szituációban a biztonságot, költséghatékonyságot, környezetvédelmi megfelelőséget és a személyi terhelés csökkentését egyszerre segítse elő. Ez a rendszer teljes összehangoltságot igényel az egyes tagállamok, légitársaságok, légi forgalmi szolgáltatók között, így a teljes technikai interoperabilitás és magas szintű rendelkezésre állása elengedhetetlen.

Az adatokat, amelyek eddig nehezen voltak hozzáférhetők, a mesterséges intelligencia több, egymással védett csatornán kommunikáló szolgáltatása automatikusan begyűjti, és egy központi adatbázisban tárolja. A felhalmozott adatokat valós időben elemzi, és azonnali válaszadással reagál a munkaállomásokon felmerült feladatokra. Mielőtt tehát a légi forgalmi irányító eldönti például, hogy milyen utasítást adjon egy kényszerhelyzetben lévő légi járműnek, valójában nem ő maga fogja az információkat felkutatni; ezt a mesterséges intelligencia teszi meg helyette. A rendszer felhasználja azokat az attribútumokat, amelyeket az érintett légi jármű tölt fel a szerverre, amelyeket a rádiókommunikációból származó beszédfelismerés útján nyert ki, és számos más dinamikus tényező mellett azokat az állandó jellegű tulajdonságokat is, amelyek az adott repülőteret, légi járművet és annak földrajzi pozícióját jellemzik. Ezt követően nem oszt meg az irányítóval olyan információt, amelyet nem szükséges tudnia, vagy másképp fogalmazva adatvédelmi szempontból nem előnyös megosztani vele az adott szituációban. A hangsúlyt az általa kidolgozott megoldásra helyezi.

Ebből következik az is, hogy egyes esetek kivételével az információk adatbázisba való szervezése nem a személy által, manuálisan történik, hanem a mesterséges intelligencia folyamatosan és automatikusan tárolja az adatokat későbbi műveletek számára. Így érhető el, hogy az adminisztratív feladatokhoz szükséges adatok zárt rendszeren belül legyenek online, védve az illetéktelen hozzáféréstől. Hamis adatok, pontatlan információk nem kerülhetnek az adatbázisba, és így azok nem okozhatják a döntéshozó félrevezetését. A rendszer igényeinek megfelelő hardveres háttér kialakítására szerverállomásokat kell létrehozni. Ilyen állomást kiépíthetnek kontinenseken elosztva, az ATM-központok felelősségi területein belül vagy akár a Funkcionális Légtér Blokkokban (FAB)[9] is.

Ahogy az előbbi bekezdésben említettük, bizonyos információkat – jellegükből adódóan, például az alap adatbázis felépítése korábbi eseményekből – manuális úton kell rögzíteni a mesterséges intelligencia által használt adatbázisba. Ilyen rögzítés csak a munkaállomáshoz

[7] CMC *(Ceramic Matrix Composit):* kerámiamátrix kompozit.
[8] MMC *(Metal Matrix Composit):* fémmátrix kompozit.
[9] FAB *(Functional Airspace Block):* funkcionális légtérblokk.

kapcsolódó szoftverrel lehetséges, és csak a jogosultsági kategóriának, szintnek megfelelően történhet.

8. Mesterséges intelligencia alkalmazása a szimulációs gyakorlatokban

A szimulációs rendszerek az 1990-es évektől kezdődően segítik a légijármű-vezetők, a légi forgalmi irányítók és a repülő-műszaki szakemberek, szerelők képzését, egyes munkafolyamatok, eljárások begyakorlásában vagy komplex gyakorlatok elvégzésekor. A képzésről alkotott szemlélet is átalakult az utóbbi évtizedekben, és előtérbe kerültek az úgynevezett „*evidence–based*" képzések, amelyek operatív gyakorlatokkal fejlesztik a gyakornokok általános képességeit az alapvető kompetenciák megszerzésében [8], [22]. Az intelligens tanulási folyamatokban a gyakornokok a megszerzett tudást szimulációs környezetben, az oktató felügyelete mellett vezetett, úgynevezett felfedező tanulás módszerével mélyítik el. A szimulációs rendszerek a mesterséges intelligencia adta lehetőségeket több módon is kiaknázhatják. Az egyik ilyen lehetőség, a humán erőforrás helyettesítésére szolgál, amikor az álpilóták/irányítók helyett a mesterséges intelligencia végzi a rádióforgalmazást, követve a repülési gyakorlat időbeni előrehaladását és minden egyéb tevékenységet, ami a szimulációs feladatban megjelenik. Másik alkalmazási területe a szimulációs gyakorlatok összeállítása, amelyek illeszkednek a gyakornok képzettségi szintjéhez. A kényszerhelyzetek, rendkívüli helyzetek begyakorlására akár valós események alapján összeállított szimulációs gyakorlatok is tervezhetők [4].

A légiforgalom-szervezés rendszerében az automatizáció több területen is megjelenik, ezzel támogatva a légi forgalom gyors, rendszeres és biztonságos áramlását. A légi forgalmi irányítók döntéstámogató rendszereinek kifejlesztésekor elemezték a munkafolyamatok teljes spektrumát, az alkalmazandó szabályokat, az adott légtérstruktúrát, szektorkiosztási konfigurációkat, a jellemző és uralkodó időjárási jelenségek okozta korlátozásokat, amelyekben a mesterséges intelligencia szerepe abban áll, hogy képes elemezni az aktuális helyzetet, figyelembe veszi azokat a faktorokat, amelyek befolyásolják a repülés biztonságát, és döntési javaslatot adnak az légiforgalom-irányítónak. Az irányító akár elfogadja vagy módosításokat tesz a végső döntésében, ezeket a mesterséges intelligencia elemezi és eltárolja, mint alkalmazható lehetőséget [11]. Azt, hogy kiválthatja-e a mesterséges intelligencia minden területen a légi forgalmi irányítók személyét, vitatott kérdés, azonban első lépésként elképzelhető, hogy az útvonalengedélyeket továbbító „*Delivery*" szolgálat engedélykiadási és visszaolvasási tevékenységét a nem túl távoli jövőben már nem egy személy, hanem számítógép végzi.

9. Konklúzió

Mivel a mesterséges intelligencia elméleti lehetőségeinek határai egyre bővülnek, ezért érdemes pár szót ejteni a jövő technológiájának támogatásáról is. A mesterséges intelligencia újabb felhasználási területeinek megjelenésével, annak jogi háttere is bővítésre szorul. Emellett új, repülésbiztonságot fenyegető kockázatok is megjelennek – például a légi forgalmi irányító szolgálat milyen elkülönítési eljárásokat alkalmazhat egy teljesen autonóm pilóta nélküli légi jármű és egy hagyományos légi jármű elkülönítésére, amelyek már teljes mértékben

az adatkommunikációs rendszereket használják az útvonalon történő navigációra, és az illetékes ATS-egységekkel történő kommunikáció fenntartására is. Előnyként lehet említeni azonban, hogy a monotonitás és emberi fáradtság okozta tévedések, hibák kiküszöbölhetők lesznek.

Az úgynevezett UAB[10]-eszközök megjelenésével a UAS[11]-eszközökkel történő városon belüli áru- és személyszállítás is online közelségbe került. Ezek az eszközök repülési magasságuk földközeli jellege miatt nem is annyira légi, mint inkább földi kockázatokat rejtenek magukban. Hiszen a navigációs és kommunikációs rendszerek, beépített területeken nem működnek az elvárható biztonsági szinten [12]. Több európai fejlesztő cég foglalkozik azzal, hogy a GPS[12] mellett, például a mesterséges intelligencia, LIDAR[13] és felszíni wifi-hálózat együttműködése hogyan alkalmazható ebben a speciális esetben a repülésbiztonság javára [13]. Az elektromos és hidrogénhajtású utasszállító repülőgépek megjelenésével nem csak a károsanyag-kibocsátás és a repülőtéri zaj csökkenthető, de a repülőterek fel kell készüljenek az ilyen típusú légi járművek kiszolgálására is. A hologramos ábrázolás sem új keletű dolog, segítségével az irányítók háromdimenziós megjelenítéssel figyelhetik meg a légtér felhasználását és a földön végzett műveleteket. A műszaki szakemberek szintén háromdimenziós szemléltető eszközökkel képezhetik magukat.

A földi berendezések, a repülőgépek rendszereinek és az emberi erőforrások felhasználásának fejlődésével előtérbe kerülnek olyan, mesterséges intelligenciával nem rendelkező eszközök, amelyek nagyfokú automatizáltsággal fognak működni, és kihatással lesznek a légi forgalomra. Ezért fontos megalkotnunk egy olyan rendszert, amelyben ezek összehangoltan működhetnek.

A korábban már felsorolt felhasználási lehetőségeken túl a mesterséges intelligenciának számos hasznosítása létezhet majd a közeli és a távoli jövőben egyaránt, ami a repülés világát érinti. Ez a változás elkerülhetetlen, ugyanis a mai felgyorsult világban az egyre növekvő igények napról napra magasabb elvárásokat támasztanak a biztonság növelése érdekében. A globális kiszolgálásban a határok lassan elmosódnak, és a megoldásokat egy olyan algoritmus létrehozásában kell keresni, amely az egész világon képes átfogóan kezelni, összehangolni és rendszerbe helyezni a légi forgalomban együttműködő feleket.

Hivatkozások

[1] AIRportal, *Robot segít a becsomagolásban a KLM-utasoknak.* AIRPortal, 2018. Online: https://airportal.hu/robot-segit-becsomagolasban-klm-utasoknak/

[2] Ambrus A., *Beszélő robotfej segít eligazodni a frankfurti reptéren.* AIRPortal, 2019. Online: https://airportal.hu/beszelo-robotfej-segit-eligazodni-a-frankfurti-repteren/

[3] Ambrus A., *Mesterséges intelligencia számolja ki a várakozási időt Pittsburgh repterén.* AIRPortal, 2019. Online: https://airportal.hu/mesterseges-intelligencia-szamolja-ki-a-varakozasi-idot-pittsburgh-repteren/

[10] UAB: *Urban Air Mobility.*
[11] UAS: *Unmanned Aircraft System.*
[12] GPS: *Global Positioning Sysem.*
[13] LIDAR: *Light Detection and Ranging.*

[4] A. J. Kornecki, T. B. Hilburn, T. W. Diefenbach, M. Towhidnejad, "Intelligent Tutoring Issues for Air Traffic Control Training," *IEEE Transactions on Control Systems Technology,* vol. 1, no. 3, 204–211, 1993. Online: https://doi.org/10.1109/87.251888
[5] DeepMind, *Alpha Go.* Online: https://deepmind.com/research/case-studies/alphago-the-story-so-far
[6] Palik M. (szerk.), *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek.* Második javított kiadás, Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013. Online: www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/UAV_handbook_Secon_edition.pdf
[7] I. Sample, "AI-generated fake videos are becoming more common (and convincing). Here's why we should be worried," *The Guardian,* 13 January, 2020. Online: www.theguardian.com/technology/2020/jan/13/what-are-deepfakes-and-how-can-you-spot-them
[8] International Civil Aviation Organisation, *Manual of Evidence-Based Training.* ICAO Doc 9995, First Edition, 2013.
[9] Körtvélyes T., *Humanoid robotot tesztelnek a müncheni repülőtéren.* AIRPortal, 2018. Online: https://airportal.hu/humanoid-robotot-tesztelnek-muncheni-repuloteren/
[10] L. Wang, *New Google Lens features to help you be more productive at home.* Google blog, 2020. Online: https://blog.google/products/google-lens/new-google-lens-features-help-you-be-more-productive-home/
[11] M. Madanan, N. Hussain, N. C. Velayudhan, B. T. Sayed, "Embedding machine learning in air traffic control systems to generate effective route plans for aircrafts in order to avoid collisions," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology,* vol. 97, no. 2, 605–616, 2019. Online: www.researchgate.net/publication/330983702
[12] B. Békési, M. Palik, T. Vas, A. Halászné Tóth, "Aviation Safety Aspects of the Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV)," in *Topics in Intelligent Engineering and Informatics.* L. Nádai, J. Padányi Eds. Spinger, 2016, 113–121. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-319-28091-2_10
[13] L. Davies, R. Bolam, Y. Vagapov, A. Anuchin, "Review of unmanned aircraft system technologies to enable beyond visual line of sight (BVLOS) operations," in Proc. of 2018 X International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS), 2018. Online: https://doi.org/10.1109/ICEPDS.2018.8571665
[14] Néveri G., *Mesterséges intelligencia küzdhet a késések ellen Heathrow-n.* AIRPortal, 2019. Online: https://airportal.hu/mesterseges-intelligencia-kuzdhet-a-kesesek-ellen-heathrow-n/
[15] R. Das, C. Melchior, K. M. Karumbaiah, "Self-healing composites for aerospace applications," in *Advanced Composite Materials for Aerospace Engineering,* S. Rana, R. Fangueiro Eds. Woodhead, 2016, 333–364. Online: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100037-3.00011-0
[16] Régens, *OpenAI projektek.* 2021. Online: www.regens.com/hu/-/a-legerdekesebb-openai-projektek?redirect=%2Fhu%2Fkezdolap
[17] Szilágyi Á., *Chatbot segíti Gatwick utasait a tájékozódásban.* AIRPortal, 2019. Online: https://airportal.hu/chatbot-segiti-gatwick-utasait-a-tajekozodasban/
[18] Szilágyi Á., *Mesterséges intelligencia segítségével növelné pontosságát a British Airways.* AIRPortal, 2019. Online: https://airportal.hu/mesterseges-intelligencia-segitsegevel-novelne-pontossagat-a-british-airways/
[19] Szilágyi Á., *Mesterséges intelligenciával működő koktélkészítőt tesztel a British Airways.* AIRPortal, 2020. Online: https://airportal.hu/mesterseges-intelligenciaval-mukodo-koktelkeszitot-tesztel-a-british-airways/

[20] Szilágyi Á., *Önvezető robotokat tesztelt a frankfurti repülőtér.* AIRPortal, 2019. Online: https://airportal.hu/onvezeto-robotokat-tesztelt-a-frankfurti-repuloter/
[21] T. Caldwell, "Artificial Swarm Intelligence In The Context Of Singularity," *Forbes,* 23 January, 2020. Online: www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2020/01/23/artificial-swarm-intellgience-in-the-context-of-singularity/?sh=427222ae7284
[22] T. Vas, "Required MATCO (Military Air Traffic Controller Officer) competencies for the efficient Air Traffic Management at the airfield in mission environment," *Repüléstudományi Közlemények,* vol. 30, no. 3, 45–60, 2019.

The Applicability of Artificial Intelligence in Modern Aviation

In this article the authors describe their searching activity, and their achievement in the competition called ATM Student Invention Challenge. As the task of the competition the artificial intelligence as a future flight support and service tool was examined. Following the introduction and the description of the currently applied technologies in our topic, the authors outline some of the untapped potentials that can bring significant changes to the innovation of flight safety and efficiency. Our goal is to expound the possible directions of development using the present research as a base.

Keywords: *artificial intelligence, human factor, logistics, aviation safety*

Dr. Vas Tímea alezredes, adjunktus Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék vas.timea@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0082-0370	Tímea Vas, PhD Lieutenant Colonel, Senior Lecturer University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aerospace Controller and Pilot Training vas.timea@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0082-0370
Dr. Békési Bertold alezredes, egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék bekesi.bertold@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-5709-789X	Bertold Békési, PhD Lieutenant Colonel, Associate Professor University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems bekesi.bertold@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-5709-789X

Sári János BSc-hallgató Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék sari.janos1999@gmail.com orcid.org/0000-0001-8861-3300	János Sári BSc student National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems sari.janos1999@gmail.com orcid.org/0000-0001-8861-3300
Kele Katalin BSc-hallgató Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék kele.katalin5@gmail.com orcid.org/0000-0002-7124-3152	Katalin Kele BSc student National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aerospace Controller and Pilot Training kele.katalin5@gmail.com orcid.org/0000-0002-7124-3152
Magyar Martin BSc-hallgató Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék mmartinx2@gmail.com orcid.org/0000-0002-5896-6372	Martin Magyar BSc student National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aerospace Controller and Pilot Training mmartinx2@gmail.com orcid.org/0000-0002-5896-6372
Szabó Richárd BSc-hallgató Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék sz.ricsi1997@gmail.com orcid.org/0000-0001-7170-5815	Richárd Szabó BSc student National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aerospace Controller and Pilot Training sz.ricsi1997@gmail.com orcid.org/0000-0001-7170-5815

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
33. évfolyam (2021) 1. szám 19–25. • DOI: 10.32560/rk.2021.1.2

Petra Kovács

Women serving in the Royal Air Force (1938–1944)

During World War II not only men served in the Royal Air Force. Sir Kingsley Wood, the Air Minister, formed the Civil Air Guard for supporting the Royal Air Force. Until July 1939 between three and four thousand people got their pilot's licence, and there were a further ten thousand undergoing training. Nine hundred of them were women.

Keywords: *World War II, RAF, Polish, pilots, women*

1. Structure of the Royal Air Force (RAF)

The Royal Air Force was treated primarily as an independent force, as it was – like the Navy – the main offensive force of Britain. In 1936, the following organisations within RAF were established:

- Bomber Command – the core of the Air Force and main offensive element;
- Fighter Command – responsible for air defence;
- Coastal Command – responsible for supporting the navy and protecting shipping; and
- Training Command – to perform training tasks.

In 1937, the RAF handed a portion of its naval aircraft over to the Admiralty. A Maintenance Command was established to carry out procurement and supply tasks. Civil aviation and volunteers were also subject to Reserve Command, as well as Balloon Command. The basic unit of the RAF was the squadron. Before the war, it consisted of 12 single-engine machines or 10 twin-engined machines. 2–3 squadrons formed a wing, and several wings were organised into a group [4].

2. Air Transportation Auxiliary – ATA

Sir Kingsley Wood, Minister of Aviation, established the Civil Air Guard on July 23, 1938 to assist in the duties of the Royal Air Force. It was open to anyone between the ages of 18 and 50 who was a member of a flying club, regardless of gender. By July 1939, the number of licensees was between three and four thousand, and an additional 10,000 pilots were in training (900 of whom were women). Gerard d'Erlanger, then director of British Airways, predicted that there would be pilots who would not be fit for combat service in the RAF due

to their age, but they could still perform other transportation and support tasks. Its initiative was immediately adopted, creating the Air Transportation Auxiliary (ATA) [2], [14].

In 1939, the conditions for admission to the ATA were as follows: minimum 'A' type private pilot license, a few hundred hours flown, age between 28–50 years for men (as men under 28 were conscripted), and age of at least 22 years for women. The female pilots, unlike in the other service branches, were on an equal footing with the men; they wore the same uniforms, and had the same qualifications and tasks. The ranks were decided by the level of training the pilots had completed. The newly introduced pilot candidates were called cadets. After obtaining a single-engine pilot's licence, they received the rank of Third Officer, which corresponded to Pilot Officer in the Royal Air Force and Flight Officer in Hungarian. After the appointment of the First Officer, those who had administrative duties or teams were able to advance through the ranks. The pay gap between male and female pilots was initially quite extreme, but this was completely eliminated by June 1943 [14].

ATA transport pilots received specific training, the main focus of which were: provision of qualification according to airplane type and classification, experience and navigation training, and preparation and classification of the transport service, taking into account individual abilities. Not included in the training was instrument flight, aerobatic training, formation flight and radio use. The reason for this was very simple: Planes ferried by ATA pilots were not yet equipped with a radio. Airplanes were classified into six classes according to their type. Some examples of well-known aircraft deployed during World War II were the Hurricane, Spitfire, Typhoon in class II, while the Halifax, Lancaster and similar heavy bombers belonged to class V [14].

After passing the aircraft-specific type examination, the pilots would perform ferry flights of aircraft in that category until they qualified for the next class. They could only become professional transport pilots once they had qualified in Class III.

June Farquhar wrote about the training: 'What a great training and how confident it made us all. I still admire the fact that we were able to climb into a completely unknown aircraft, flip through the Pilot's Operations Manual, spend time getting to know the aircraft, and... then into the great blueness!' [9], [14].

The work of the ATA pilots was very hard. They flew seven out of seven days, never being given rest and recreation periods (as opposed to RAF pilots). Nor were their flights completely safe. As mentioned earlier, the planes flew without radio connection, so there was always a danger that they might be perceived as enemy aircraft as they flew over battlefields, supplying aircraft to frontline units in the combat zone [14].

3. Women's Auxiliary Air Force – WAAF

The Women's Auxiliary Air Force was founded on June 28, 1939. Here, the list of tasks for women serving was extensive, ranging from cooking to publishing meteorological data, from administrative duties to aircraft installation/maintenance. The women were, however, not allowed to fly aircraft. Their priority was to monitor the radars and to serve in the operations rooms during the Battle of Britain [3], [10].

Many of the WAAF members received special training for service outside WAAF through the recruitment of the Special Operations Executive (SOE), referred to as Churchill's secret army.

4. Polish Women's Auxiliary Air Force (Pomocnicza Lotnicza Służba Kobiet – PLSK) in the RAF

After the occupation of Poland in 1939, the Polish government moved its headquarters first to Romania and then to Paris. On September 30, 1939, Emigrant President Władysław Raczkiewicz commissioned General Władysław Sikorski to form a new Polish government. The government was based in Paris until the summer of 1940 and, after the collapse of France and on Prime Minister Winston Churchill's invitation, moved to London [15].

When the Soviet-German war began in 1941, the Soviet Union's new international status enabled them to seek help from other countries hostile to Germany. On July 5, 1941, Anthony Eden, a diplomat from the British Foreign Office, and General Sikorski began negotiations with the Soviet Ambassador, Ivan Majski, in London, thus beginning to re-establish diplomatic relations between Poland and the Soviet Union [10].

Stalin agreed to annul all previous pacts with Nazi Germany, destroying the September 1939 Soviet-German partition of Poland. Under an agreement between the Polish government and Stalin, on August 12, 1941, the Soviets granted Polish citizens 'Amnesty', including 40,000 members of the Polish armed forces serving with the Red Army (later known as General Anders Army after General Władysław Anders). At the initiative of General Władysław Anders, the Polish Women's Auxiliary Air Force was established in September 1941 [12].

Between March and July 1940, General Stanisław Ujejski, Deputy Commander of the Polish Air Force, proposed to General Marian Kukieł, then Deputy Minister of Defence of the Polish Government in exile, as an observer, that he recruit about 1,500 volunteers to a Polish Women's Auxiliary Air Force. As a result, on December 2, 1942, General Kukieł issued a decree calling on Polish women living in the United Kingdom to join the PLSK. In April 1943, 36 women were selected as instructors for additional volunteers. Among them was Helena Paszkiewicz, who left the British Women's Auxiliary Air Force to join the PLSK. They were sent to Scotland for a Polish admission course, which ran from May 1 to June 10. On June 17, they became members of the WAAF and were sent on a British WAAF course to Wilmslow. At Faldingworth Airport, several Polish women worked with Polish mechanics on the Lancaster with the No. 300 (Bomber) Squadron. Members of the Polish Women's Auxiliary Air Force were eventually deployed at 26 airports. The volunteers worked mainly in Polish units, but also on English stations. The female officers worked in eight areas: RAF and WAAF administration, secret service, accounting, warehousing and material supply, food supply, cryptography and education. Volunteers, as well as non-commissioned officers and private officials, worked in 45 fields, including administration, waitresses, cooks, air traffic controllers, air traffic control, meteorological services, radio transmitters, and telegraph operators, clerks, drivers, help in warehouses, suppliers, mechanics and technicians. Graduates of the Polish technical school were assigned to the latter areas.

From June 1943 to June 1945, 1,436 Polish women, aged 17 to 43, joined the Polish Women's Auxiliary Air Force; 52 of them became officers and 110 non-commissioned officers. On 8 May 1945, 1137 served in the British Women's Auxiliary Air Force [13].

After the war, most volunteers did not return to Poland. Many because their families moved to the Soviet Union, due to the rearrangement of borders, or they were just married in Britain. Many remained with the Women's Auxiliary Air Force in the UK, which meant an additional two years of service. In the meantime, they could further train for various civic

jobs, seek employment or receive scholarships to various English universities and educational institutions. Additional organisations were formed in North America and Great Britain: in 1972 the PLSK-WAAF Section was established in Toronto under the leadership of Anna Ejbich, and in 1977, the Nottingham section was established and led by Zofia Bojko- Białkowska. In 2004, at the XXX. PLSK Congress, the Polish Women's Auxiliary Air Force was abolished [13], [14].

5. The most outstanding

Joan Lily Amelia Hughes (1918–1993)

She was one of the first eight female pilots to join the Air Transport Reserve Air Force. By the end of the war, she had become one of the most experienced pilots with a license for all types of military aircraft. She flew almost 600 hours while serving in the ATA [5].

Ruth Helen Kerly (1916–1992)

One of the two women who received praise during their service at the ATA. On June 25, 1944, a technical error occurred while flying a Spitfire, but she successfully landed in a field. There was minimal damage to the machine [1].

Margaret Fairweather (1901–1944)

She was one of the top eight female ATA pilots, as well as the first woman to perform aerial activity on Spitfire aircraft. She had held a pilot's licence since 1931 and served as an instructor as a member of the Scottish Aviation Club. On April 3, 1944, she died in a plane crash [18].

Wanda Szuwalska (1923–)

In 1943, she volunteered for the Air Force. In 1944 she was assigned to the Polish Women's Auxiliary Air Force. After completing the two-month training course, she served with the No. 300 (Bomber) Squadron at Faldingworth in the air traffic control tower. Her responsibilities included informing Polish personnel returning from combat flights of wind directions and the number of runways and parking spaces for Poles serving on four-engined Lancaster bombers. The office she was part of was tasked with preparing various reports. In November 1944, she was transferred to the Fighter Flight Command near London, where she was entrusted with the administration of the training and deployment flights of Polish fighter pilots and the control of the pilots' flight log [6], [16].

Wanda Vrabetz (1924–2016)

On July 13, 1944, she joined the Polish Women's Auxiliary Air Force. On the same day, she began her two-month training to become a member of the British WAAF. After training, in September 1944, due to her previous studies (she studied pioneering), she was assigned to the Air Force Command of the Design Office of the Airport Construction Directorate.

She made technical drawings which were included in the instructions for the construction of airports and runways. After several months of service, she asked to attend a graduation preparation course. After graduating, she moved to Dunholme Lodge Air Base in 1946 and then to Framlingham in 1947. Here she waited for the formation of the Polish Air Force. She received the Air Medal award [17].

Jadwiga Piłsudska- Jaraczewska (February 28, 1920 – November 16, 2014)

Jadwiga Piłsudksa was born on February 28, 1920 in Warsaw as the younger daughter of Polish statesman and first Marshal of Poland, Józef Piłsudski. She was a fan of flying since childhood, obtaining her glider licence in 1937 and then continued her pilot training. In September 1939, she wanted to begin her studies in aeronautical engineering at the University of Warsaw, but the German invasion intervened. In Britain, she began her studies in architecture at the University of Cambridge. Meanwhile, she applied to the Air Transport Reserve Air Force, which she was only able to join in 1942, leaving her studies.

After receiving training in small aircraft, she was able to switch to fighter aircraft, such as Hurricane and Spitfire. Shortly afterwards, she was appointed Second Officer (equivalent to Flying Officer in the RAF), which allowed her to ferry Class IV bombers in areas of operations [7], [8].

Figure 1
Jadwiga Piłsudska with ATA officers [8]

She left the Air Force in 1944 and began her studies at the Polish School of Architecture at the University of Liverpool, where she graduated in 1946 with a degree in architecture. She never applied for British citizenship, traveling with a so-called Nansen passport, with which she could go everywhere except to Poland. She returned home to Warsaw in 1990 with her husband, Andrzej Jaraczewski [8].

References

[1] Cole, Paul: Mystery of the Spitfire heroine: www.thefreelibrary.com/MYSTERY+MYSTERY+OF+THE+OF+THE+SPITFIRE+SPITFIRE+HEROINE+HEROINE.-a0392609899
[2] Curtis, Lettice: The forgotten pilots: a story of the Air Transport Auxiliary, 1939–45, Henley-on-Thames, Foulis, 1971. Online: https://doi.org/10.1093/ref:odnb/67664
[3] Ellis, Mary: A Spitfire Girl: One of the World's Greatest Female ATA Ferry Pilots Tells Her Story, Frontline Books, 2017
[4] Groehler, Olaf: A légi háborúk története. Második, átdolgozott kiadás, Zrínyi Katonai Könyv- és Lapkiadó, Budapest, 1983
[5] Hughes, Joan Lily Amelia: www.oxforddnb.com/view/10.1093/ref:odnb/9780198614128.001.0001/odnb-9780198614128-e-67664;jsessionid=BD991F7FE1F8211314973A01AC2E0ED0
[6] Interview with Wanda Szuwalska: https://ibccdigitalarchive.lincoln.ac.uk/omeka/collections/document/3498
[7] Jadwiga Pilsudska Jaraczewska: www.polishairforce.pl/pilsudska.html
[8] Jadwiga Pilsudska-Jaraczewska orbituary: www.telegraph.co.uk/news/obituaries/11245441/Jadwiga-Pilsudska-Jaraczewska-obituary.html
[9] Lucas, Y.M.: WAAF with Wings, GMS Enterprises, 1992
[10] Mikolajczyk, Stanislaw: The Pattern of Soviet Domination, Sampson Low, Marston & Co., 1948. Online: https://doi.org/10.2307/3016765
[11] Narracott, A. H.: How the RAF works, F. Muller Limited, 1941
[12] Piesakowski, Tomasz: The Fate of Poles in the USSR 1939–1989, Gryf Publications, London, 1990,
[13] Pomocnicza Lotnicza Służba Kobiet (PLSK-WAAF): https://listakrzystka.pl/pomocnicza-lotnicza-sluzba-kobiet-plsk-waaf/
[14] Schrader, Helena Page: Sisters in Arms: The women who flew in World War II, Pen&Sword Aviation, South Yorkshire, 2015
[15] Szokolay Katalin: Lengyelország története, Balassi Kiadó, Budapest, 1997
[16] Wanda Szuwalska: www.polishairforce.pl/szuwalska.html
[17] Wanda Vrabetz: www.polishairforce.pl/vrabetz.html
[18] Wikipedia the Free Encyclopedia: Margaret Fairweather: https://en.wikipedia.org/wiki/Margaret_Fairweather
[19] Women's Auxiliary Air Force (WAAF) 1939–1949: www.rafmuseum.org.uk/research/online-exhibitions/women-of-the-air-force/womens-auxiliary-air-force-waaf-1939-1949.aspx

Nők a Brit Királyi Légierő kötelékében

A II. világháború során nem csak férfiak szolgáltak a Brit Királyi Légierő kötelékében. Sir Kingsley Wood, légügyi miniszter létrehozta 1938-ban a Polgári Légi Őrséget (Civil Air Guard) a Brit Királyi Légierő feladatainak segítésére. 1939 júliusára a licencet szerzettek száma három- és négyezer közé tehető, valamint további tízezer pilóta állt kiképzés alatt (ebből 900 nő)

Kulcsszavak: *II. világháború, RAF, lengyel pilóták, nők*

Kovács Petra doktori hallgató Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi Doktori Iskola kovpet1991@gmail.com orcid.org/0000-0002-6783-0979	Petra Kovács PhD student University of Public Service Doctoral School of Military Sciences kovpet1991@gmail.com orcid.org/0000-0002-6783-0979

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
33. évfolyam (2021) 1. szám 27–37. • DOI: 10.32560/rk.2021.1.3

Sándor Zsolt, Pusztai Máté

A hazai pilóta nélküli légijármű-rendszerekre vonatkozó szabályozás EU-s jogszabályoktól való eltéréseinek bemutatása

2018-ban lépett hatályba az új, a polgári légi közlekedés területén alkalmazandó közös szabályokról és az Európai Unió Repülésbiztonsági Ügynökségének létrehozásáról szóló (EU) 2018/1139 rendelet (más néven Alaprendelet vagy Basic Regulation). A hatályos Alaprendelet jelentőségét az adja, hogy immáron külön részt (VII. szakasz) szentel a pilóta nélküli légi járműveknek (drón), kiterjesztve az Európai Unió szabályozását a 150 kg-nál kisebb maximális felszállótömegű (MTOM) drónokra is, amely újabb uniós rendeletek révén részletszabályokkal is bővült. Cikkünkben bemutatjuk, hogy a 2021. január 1-je óta érvényben lévő EU-s keretszabályozáshoz képest a hazai jogszabályok hol és milyen eltéréssel léptek életbe.

Kulcsszavak: *drónszabályozás, drón jogszabály, UAS, UAV*

1. Bevezetés

Az Alaprendelet [1] egyértelműsíti, hogy a drónok olyan légi járművek, amelyek népszerűségüknél és jelentőségüknél, valamint kialakításuknál fogva egyedi szabályozást igényelnek. Ennek megfelelően az Alaprendelet két nagyobb szabályozási területet határozott meg: a termékbiztonságot garantáló szabályokat, valamint az üzemeltetéssel kapcsolatos szabályokat.

E felhatalmazás eredményeként két jogszabályt fogadtak el:

1. a Bizottság (EU) 2019/945 felhatalmazáson alapuló rendelete [2] (Felhatalmazáson Alapuló Rendelet) a pilóta nélküli légijármű-rendszerekről és a pilóta nélküli légijármű-rendszerek harmadik országbeli üzembentartóiról,
2. valamint a Bizottság (EU) 2019/947 végrehajtási rendelete [3] (Végrehajtási Rendelet) a pilóta nélküli légi járművekkel végzett műveletekre vonatkozó szabályokról és eljárásokról.

A két fenti rendelet, jóllehet jellegüknél fogva és az Európai Unió működéséről szóló Szerződés 288. cikke értelmében, teljes egészében kötelező és közvetlenül alkalmazandó valamennyi tagállamban, mégis inkább tekinthető jogi sorvezetőnek a tagállamok számára, mint szigorú és bármiféle mozgásteret nélkülöző előírásnak [4]. Az Alaprendelet ugyanis maga ad lehetőséget, hogy a tagállamok „a közbiztonság, vagy a magánélet és a személyes adatok védelme

érdekében bizonyos feltételekhez" [1, 56. cikk (8) bek.] kössék a pilóta nélküli légi járművek üzemben tartását.

Álláspontunk szerint a magyar jogalkotó a magyar jogrendszernek a Felhatalmazáson Alapuló Rendelet és a Végrehajtási Rendelet rendelkezéseinek való megfeleltetése során élt az Alaprendelet hivatkozott rendelkezése, ha úgy tetszik „közbiztonsági klauzulája" által biztosított jogalkotási lehetőségekkel. Cikkünkben a magyar szabályozás azon elemeit kívánjuk bemutatni, amelyekben e mozgástér kihasználásának nyomaira bukkanhatunk. Így azon tartalmi elemek tárgyalásától eltekintünk, amelyek alkalmazása változtatás nélkül valósul meg hazánkban.

2. Nyilvántartás

A Végrehajtási Rendelet 14. cikke szerint minden tagállamban, így Magyarországon is létre kell hozni egy olyan nyilvántartási rendszert, amely tárolja egyes pilóta nélküli légijármű-rendszerek (UAS-) üzembentartóinak és az úgynevezett tanúsított drónok adatait [3].

2.1. Eszköznyilvántartás

A drónok tanúsítása a Végrehajtási Rendelet szerint kizárólag abban az esetben szükséges, ha embertömeg feletti repülésre szánták, és legalább 3 m-t eléri a szélessége (fesztávolsága vagy hossza), veszélyes anyagot (feltéve, hogy az „nagyfokú kockázatot jelent a kívülállók számára") vagy utasokat szállít, illetve ha az üzemeltetés körülményei miatt rendkívül kockázatosnak minősíti a hatóság. Erről a Végrehajtási Rendelet 6. cikke és Felhatalmazáson Alapuló Rendelet 40. cikke rendelkezik.

Az Európai Unió által nyilvántartásba vételre kötelezett drónok tehát igen kis szeletét jelentik a drónok teljes piacának, így az uniós előírások szolgai követésével a tagállami UAS-nyilvántartás (eszköznyilvántartás) terjedelme nem lenne túl nagy. Jelenleg (2021. február) – a Végrehajtási Rendelet 14. cikke alapján – egyetlen drónt sem kellett még nyilvántartásba venni (mivel az csak a tanúsításköteles UAS-ekre vonatkozik, és ilyen berendezések még nem érhetők el a piacon).

Könnyen belátható, hogy ennek a hiánynak a légi közlekedés biztonságára és ezen keresztül a közbiztonságra is komoly hatása lehet. Ezt a hatást felismerve és mérlegelve került sor a légi közlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény (Lt.) 17. §-ának módosítására, amely előírja, hogy a légi közlekedési hatóság – a pilóta nélküli játék légi járművek[1] kivételével – minden UAS-ről nyilvántartást vezet [5].

A drónok alkalmazási területeinek száma exponenciálisan növekszik, így jogalkotási és hatósági eszközökkel szinte megjósolhatatlan, hogy a jövőben milyen kockázatos műveleteket fognak végrehajtani a technikai fejlődés folytán egyre kisebb méretű és tömegű drónok. Ezért

[1] Lt. 71. § 50. pont: „pilóta nélküli játék légijármű: a játékok biztonságáról szóló, 2009. június 18-i (EK) 2009/48 európai parlamenti és tanácsi irányelv alapján játéknak minősülő és 120 g maximális felszálló tömeget el nem érő, adatrögzítő eszközzel fel nem szerelt pilóta nélküli légijármű, amely a távoli pilótától 100 méternél nagyobb távolságra eltávolodni nem képes".

jelenleg az egyetlen hatékony lehetőség a piacon és az üzemelésben lévő UAS-ek nyomon követésére egy széles körű nyilvántartás alkalmazása.

A pilóta nélküli játék légi jármű Lt. által meghatározott definíciója (lásd 2. lábjegyzet) alapján olyan alacsony kockázatot jelentő légi jármű, amely a jogalkotó megítélése szerint elhanyagolható mértékű kockázatot jelent (hiszen technikai felszereltsége komolyabb repülési manőverekre és adatvédelmi jogsértésre egyaránt alkalmatlanná teszi), így az arányosság alkotmányos elvét szem előtt tartva kiemelte a nyilvántartásra kötelezett eszközök köréből.

2.2. Retrofit és upgrade

A széles körű nyilvántartásnak azonban van egy másik fontos szerepe, mégpedig a termékbiztonság területe. Ahogy arra a bevezetőben is utaltunk, a Felhatalmazáson Alapuló Rendelet célja a legelterjedtebb drónokkal szemben támasztott műszaki alkalmassági követelmények meghatározásán túl a termékek megfelelőségének ellenőrzése, azaz a termékbiztonság magas szintjének fenntartása volt [2].

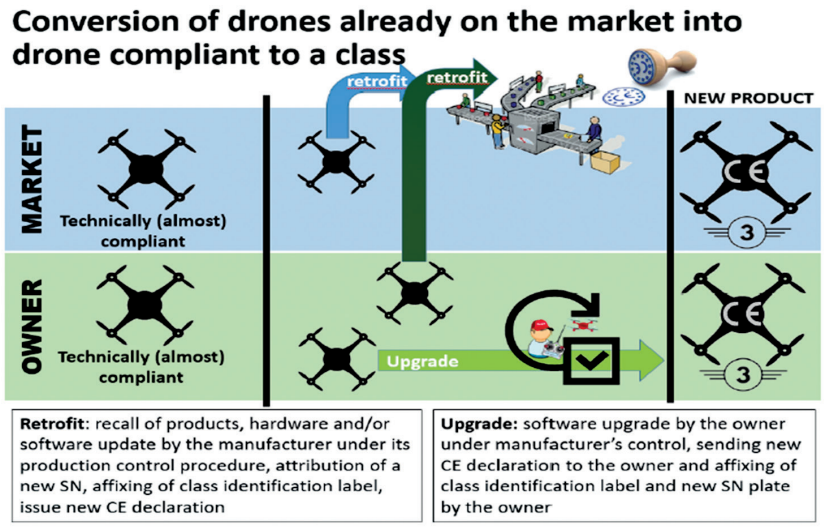
Ennek keretében az Európai Bizottság a termékbiztonságot garantáló és a drón teljes életciklusát felölelő intézményrendszert hozott létre. Ennek egyik eleme, hogy a Felhatalmazáson Alapuló Rendelet melléklete különböző osztályokat (C0–C6) és hozzájuk rendelt műszaki követelményeket jelölt ki. Ezek az úgynevezett UA-osztályok határozzák meg, hogy az egyes drónok, mely műveleti kategóriában reptethetők külön engedély nélkül.

Ahhoz azonban, hogy ezt az UA-osztályt igazoló osztályazonosító címkét a gyártó feltehesse a termékre, megfelelőségértékelést kell végeznie. A megfelelőségértékelés alapfeltételeit ugyan meghatározta az Európai Bizottság, azonban sem a szükséges szabványok kihirdetésére, sem az úgynevezett bejelentett megfelelőségértékelő szervezetek megalapítására az egyes tagállamokban még nem került sor. Ennek orvoslására a Végrehajtási Rendelet módosítása egy átmeneti időszakot biztosít a gyártók számára 2022. december 31. napjáig [3, 20. cikk]. Eddig a napig ugyanis nem kötelező a megfelelőségértékelés az újonnan forgalomba hozott drónok esetében.

Az átmeneti időszak lejárta után azonban az osztályazonosító címke nélkül forgalomba hozott drónok kizárólag „speciális" kategóriában, műveleti engedéllyel lesznek használhatók, illetve a már forgalomban lévők, csak korlátozásokkal lesznek üzemeltethetők a nyílt kategóriában. Ezért az Európai Bizottság szeretné elősegíteni, hogy a gyártók a már eladott termékeiket is elláthassák ilyen osztályazonosító címkével egy átalakítás révén. Fontos, hogy az átalakítás *(retrofit)* és szoftverfrissítés *(upgrade)* is megfelelőségértékeléshez kötött lesz, tekintettel arra, hogy az uniós termékmegfelelőségi szabályok értelmében új terméknek minősül, és ami miatt a gyártónak új modell- és típusmegjelölést kell alkalmaznia.

Feltéve, hogy a gyártó által javasolt retrofit, illetve upgrade megfelel az előírásoknak, a következő lépés az, hogy meg kell határozni azon eszközök körét, amelyeken a megoldás jogszerűen alkalmazható lesz. Ezt azonban kizárólag egy eszköznyilvántartás alapján lehet – hasonlatosan a közúti gépjárművek visszahívási akcióihoz – úgy megtenni, hogy a változtatások egyfelől nyomon követhetők legyenek, másfelől kizárjuk annak lehetőségét, hogy arra nem alkalmas eszközökön is végrehajtják a módosítást, ezzel veszélyeztetve az eszköz biztonságos működését.

A retrofit és upgrade folyamatát az alábbi ábra mutatja be:



1. ábra
A retrofit és upgrade folyamata [6]

Tekintettel arra, hogy az Lt. biztosítja ezt – a retrofit megfelelő és ellenőrizhető végrehajtásához szükséges – eszköznyilvántartást, e tekintetben nevezhetjük a magyar jogalkotó megoldását előremutatónak. Fontos megjegyezni, hogy az eszköznyilvántartás nem pusztán az átmeneti időszak lejárta miatt szükséges retrofit során bizonyulhat szükségesnek, hanem más esetekben is, például amikor szükségessé válhat az eszköz tulajdonosának beazonosítása.

2.3. A C3 osztályú drónok és a C5 osztályú átalakítókészletek

A Felhatalmazáson Alapuló Rendeletben meghatározott C5 UA-osztály a C3 UA-osztályhoz tartozó átalakítókészletként [2, melléklet 16. rész] is forgalomba hozható lesz. Azaz az uniós jogalkotó maga is nagyszámú átalakításra biztosít lehetőséget a jövőben. Ezek hatékony nyomon követése (hiszen a C5-ös átalakítás kizárólag C3 osztályú drónhoz alkalmazható) szintén igényli a széles körű eszköznyilvántartás meglétét.

A drónok gyártói körében manapság is elterjedt a különböző, elsősorban a távpilóta-állomás (*remote pilot station* – RPS) irányításáért felelős szoftver időszakos frissítése, az egyes upgrade-ek elvégzése lekövetésének nyilvántartása a hatékony hatósági munkában nélkülözhetetlen lesz. Ezek olyan módosításokat is tartalmazhatnak, amelyek hatással vannak a drón repülési képességeire, amely az eredeti osztályazonosító címke módosítására vagy akár újabb címke elhelyezésére jogosít. Ez különösen fontos azért is, mert az Európai Unió tervei szerint (lásd 1. ábra) az upgrade esetében az üzembentartók lesznek azok, akik a gyártó

utasításai szerint az új jelöléseket, így az osztályazonosító címkét *(class identification label)* is elhelyezik az eszközön.

Éppen ezért ezeket a frissítéseket is ellenőrizni kell a termékbiztonsági láncban lévő szereplőknek (bejelentett megfelelőségértékelő szervezet, piacfelügyeleti hatóság) és légi közlekedési hatóságoknak egyaránt. Utóbbiak ezt az eszköznyilvántartás révén tehetik meg a leghatékonyabban.

2.4. Saját építésű pilóta nélküli légi járművek

Egy másik terület, amelyen az eszköznyilvántartás kiemelt jelentőséggel bír, az úgynevezett saját építésű pilóta nélküli légi járművek. Ezek a drónok nem sorozatgyártásban készülnek, és nem kereskedelmi célokra gyártják, hanem saját használatra készítik őket, a legtöbb esetben hobbicélra. Mivel nincsenek jelen a kereskedelmi forgalomban, a termékbiztonsági láncba sem kerülnek be: nem kell megfelelőségértékelésen átesniük, és a piacfelügyeleti hatóság hatásköre sem terjed ki rájuk. Éppen ezért ezeknek az eszközöknek az ellenőrzése, nyomon követése kizárólag a légi közlekedési hatóság által vezetett eszköznyilvántartás útján lehetséges.

Így az Lt. által rögzített, az eszköznyilvántartásra vonatkozó szabályok rendkívül fontosak és hasznosak a légi közlekedés biztonságának fenntartásában és a drónok légi közlekedésbe történő integrációjában. A magyar jogalkotó ebbéli döntésének megalapozottságát erősíti, hogy más tagállam (például Franciaország) is a Végrehajtási Rendelethez képest szélesebb körű eszköznyilvántartást vezetett be [7].

2.5. „Data Repository" – azaz a közös EU-s adattár

Élve a tagállamok közötti kölcsönös átjárhatóság adta szabadsággal, az Európai Unió a jövőben ki fog alakítani egy olyan adatbázist, ahol lehetősége van a tagállamok hatóságainak arra, hogy egymásnak adatokat szolgáltassanak. Ez lehetőséget biztosít arra, hogy a különböző tagállami hatóságok által rögzített adatok határokon átnyúló lekérdezése megvalósulhasson.

A jelenlegi tervek csak a távpilóták adatainak – különösen az igazolások és kompetenciatanúsítványok érvényességi idejének – rögzítésére (megszerzett kompetenciák egységes struktúrában való tárolása) és ezen adatoknak egy központi adattárral való megosztására irányulnak. Az adattár előnye, hogy a „nyílt" és „speciális" kategóriához tartozó, egymásra épülő képzések előkövetelményei egyszerűen ellenőrizhetők. Így biztosítható, hogy a távpilóták a különböző képzéseket eltérő tagállamokban végezzél el, és az eredetileg kiadott távpilóta-azonosítóval a folytonos azonosítás biztosított maradjon.

A jövőben azonban szükségessé válik, hogy a drónokról származó információkat is szélesebb körben megosszák. Az átalakítások és szoftvermódosítások elvégzésének nyomon követése csak akkor tud biztonságosan megvalósulni, ha rendelkezésre áll olyan egységesen hozzáférhető és uniós szintű adatbázis, amely tartalmazza a különböző tulajdonosok és üzembentartók által használt eszközök adatait is.

A hazai szabályozás képes szolgálni ennek a célnak a mihamarabbi megvalósítását, ugyanis a távpilóták és üzembentartók adatainak rögzítésén túl az eszközök adatait is rögzíti a nyilvántartásba vételi eljárás során.

3. Képzés, vizsgáztatás

A Végrehajtási Rendelet a drónokkal végrehajtott műveletek távpilótáit kötelezi, hogy megfelelő ismeretekkel rendelkezzenek. A „nyílt" műveleti kategóriában elsajátítandó ismeretek terjedelme attól függ, hogy melyik alkategóriában valósul meg a drónhasználat. A1 és A3 alkategóriához a UAS.OPEN.020 szerinti „alap" elméleti, míg A2 alkategóriához tartozó műveletekhez a UAS.OPEN.030 szerinti „kiegészítő" elméleti és gyakorlati kompetenciákra van szükség. Ezek a kompetenciák hierarchikusan épülnek egymásra.

Az „alap" kompetenciák elsajátítása – a legtöbb tagállamban e-learning formátumú – online tanfolyam keretében valósul meg. A „kiegészítő" kompetenciák megszerzése és a kapcsolódó vizsga megvalósítása megvalósulhat online vagy kontaktórás képzés formájában, a képzőhelytől függően.

A különböző tananyagok kidolgozása az egyes tagállamok feladata volt, amelyhez a Végrehajtási Rendelet határozta meg a tématerületeket. Az adott e-learning megoldás kialakítása szintén a tagállamok felelőssége, ahogyan az is, hogy az egyes tématerületeknél milyen mélységű ismeretek átadását tartják szükségesnek. Egzakt követelmény csupán a vizsgán feltett kérdések jellegére, a vizsgázó által megválaszolandó kérdések darabszámára és a sikeres vizsgához szükséges minimumpontszámra vonatkozik.

Így alakulhatott ki az a jelenség, hogy a különböző tagállamokban eltérő minőségű tananyagok születtek, és nem egységes a megkövetelt ismeretanyag az eltérő tématerületek esetén. Továbbá a vizsgák lebonyolítási módja is eltérő.

Számos esetben tapasztalható, hogy a vizsgajelentkezéshez bár elméletileg szükséges az e-learning tanfolyam teljesítése, ennek ellenőrzése nem valósul meg, és lehetőség van vizsgázni az e-learning tanfolyam tartalmának megismerése nélkül is. Egy másik jelentős probléma, hogy sok esetben a személyes azonosítás is hiányzik, illetve a vizsgák valós tudás nélkül is teljesíthetők (például előre ismert a kérdésbank tartalma, és a helyes válaszok).

A magyar szabályozás során olyan egymásra épülő rendszert alakítottak ki, amely biztosítja a képzés megfelelőségét és a vizsgázás tisztaságát. Az „alap" kompetenciák esetén eleve csak szigorú regisztrációt követően van lehetőség az ingyenes e-learning tanfolyam teljesítésére, és a rendszer csak a tanulási folyamat végén engedi jelentkezni a távpilóta-jelöltet a vizsgára, ugyanis a hazai e-learning-program úgy lett kialakítva, hogy jelezze, ha a tanuló valamelyik anyagrész áttekintését elmulasztotta. A tananyag részletesen tartalmazza az EU-s témakörök által lefedett ismereteket, kiegészítve a nemzeti szabályozás sajátosságaival. Nemzetközi összehasonlításban is kiemelkedő a magyar „alap" tanfolyam tananyaga, mivel biztosítja, hogy a távpilóták rendelkezzenek a megfelelő elméleti ismeretekkel a műveletek végrehajtásához [8].

Vizsgázás az elméleti tananyagból minden esetben a Közlekedési Alkalmassági Vizsgaközpont szervezésében valósul meg, amely igényli a személyes megjelenést [9]. Ezáltal garantálható a vizsgázás tisztasága, és az, hogy csak olyan jelölt kap a folyamat végén távpilóta-igazolást, illetve távpilóta-kompetenciatanúsítványt, aki bizonyítottan rendelkezik az adott műveleti alkategóriához szükséges elméleti ismeretekkel is.

Sikeres vizsga esetén, a kiadott igazolás, illetve kiegészítő képzés (A2 műveleti alkategória) esetén távpilóta-kompetenciatanúsítvány – 5 éves érvényességi ideje alatt –, annak tulajdonosát feljogosítja, hogy az EU valamennyi tagállamában az adott alkategóriának megfelelően, a helyi részletszabályok betartása mellett drónnal műveletet hajtson végre [3].

4. Biztosítás

A kötelező felelősségbiztosításról az Lt. rendelkezik [5]. Az Lt. 69. § (1) bekezdése szerint „pilóta nélküli légijármű üzemben tartása, […] – harmadik személynek okozott kár megtérítése céljából – felelősségbiztosítási fedezet fennállása esetén végezhető".

A törvényszöveg általános megfogalmazása ellenére azonban nem egyértelmű, hogy pontosan milyen szabályok szerint kell az üzembentartóknak felelősségbiztosítást kötniük. Az értelmezési probléma abból adódik, hogy egy uniós jogszabály a 785/2004/EK rendelet és egy magyar jogszabály, a 39/2001. (III. 5.) Korm. rendelet egyaránt foglalkozik a légi járművek kötelező felelősségbiztosításának szabályaival. A jogszabályi hierarchia alapján azonban könnyen meghatározhatók az adott üzembentartóra alkalmazandó jogszabályok.

A jogszabályi hierarchiában az uniós jogszabályok megelőzik a tagállami jogszabályokat, így először mindig az uniós rendeletet kell vizsgálni, hogy az adott esetben alkalmazható-e. A UAS-üzembentartója a 785/2004/EK rendelet értelmében légijármű-üzembentartónak minősül, és ezért – főszabály szerint – vonatkoznak rá a rendelet szabályai. Nem kell viszont alkalmazni az uniós rendeletet, ha a UAS-üzembentartó 20 kg-nál kisebb legnagyobb felszálló tömegű (MTOM) légijármű-modelleket, vagy 500 kg-nál kisebb MTOM-mel rendelkező oktatási vagy egyéb, nem kereskedelmi célra és kizárólag belföldi repülésre használt légi járműveket, jelen esetben drónokat üzemeltet [10].

A légijármű-modell definícióját a 923/2012/EU végrehajtási rendelet határozza meg. Ezen rendelet szerint légijármű-modell „a játék repülőtől eltérő, olyan, pilóta nélküli légi jármű, amelynek működési tömege nem haladja meg az illetékes hatóság által előírt korlátokat, amely képes a légkörben folyamatosan repülni, és amelyet kizárólag bemutatásra vagy szabadidős tevékenységre használnak" [11, 2. cikk 95a. pont].

Ebből következik, hogy a kereskedelmi tevékenység végzésére, azaz ellenszolgáltatás ellenében használt drón nem légijármű-modell, azaz az uniós rendelet szabályai vonatkoznak rá, és nem a tagállami jog. Így az ellenszolgáltatás ellenében használt, de 250 g-nál kisebb felszálló tömegű drónokra is az uniós jog vonatkozik, és nem a 39/2001. (III. 5.) Korm. rendeletnek a pilóta nélküli légi járműveket külön nevesítő 2/A. §-a.

A Korm. rendelet maga is utal arra, hogy a rendelkezéseit kizárólag abban az esetben kell alkalmazni, ha a 785/2004/EK rendelet nem szabályozza a kérdést. A 2/A. § kizárólag a 20 kg alatti MTOM-mel rendelkező drónokra határoz meg az uniós rendeletnél jóval enyhébb szabályokat, a 250 g MTOM alatti drónokat – feltéve, hogy nem kereskedelmi tevékenység körében reptetik – mentesítve a kötelező felelősségbiztosítás terhe alól [12]. Összességében tehát a Végrehajtási Rendelet nyomán módosított kormányrendeletet úgy kell tekinteni, amely a hobbi vagy rekreációs célú drónhasználat esetén, ahol jellemzően 20 kg alatti drónokat reptetnek, egy könnyítést vezet be az üzembentartók számára, és a kisebb kockázatú nem professzionális műveletek esetében nem várja el, az egyébként szigorúbb uniós jogban meghatározott feltételek alkalmazását. Az 1. táblázatban összefoglaltuk a kötelező felelősségbiztosítás szabályait.

1. táblázat
A pilóta nélküli légi járművek kötelező felelősségbiztosításának szabályai [saját forrás]

Legnagyobb felszállótömeg	**Fedezet hobbicélú drónok esetében**		**Fedezet kereskedelmi tevékenység keretében üzemeltetett drónok esetében**	
	Biztosítási eseményenként	**Biztosítási időszakonként**	**Biztosítási eseményenként**	**Biztosítási időszakonként**
< 0,25 kg	Nem kötelező felelősségbiztosítás kötni		750 000 SDR (special drawing right) ~ 320 000 000 Ft	legalább 750 000 SDR (special drawing right) ~ 320 000 000 Ft
0,25 kg – 4 kg	3 000 000 Ft	6 000 000 Ft		
4,01 kg – 19,99 kg	5 000 000 Ft	10 000 000 Ft		
20,00 kg – 200 kg	10 000 000 Ft	legalább 10 000 000 Ft		
201 kg – 499,99 kg	25 000 000 Ft	legalább 25 000 000 Ft		

Ahogy a táblázatból is látszik, nagy jelentősége van az üzemeltetés jellegének a felelősségbiztosítás szempontjából. A magyar hobbidrónos közösségnek ez a könnyítés kétségtelenül kedvez és segíti a hobbidrónok szélesebb körben való elterjedését. Fontos ugyanakkor megjegyezni, hogy nem minden uniós tagállam biztosít ilyenfajta könnyítést [13], így a felelősségbiztosítás tekintetében megengedőnek tekinthető a magyar szabályozás.

5. Adatvédelem, magánélet védelme

A drónokkal kapcsolatos aggályok fontos eleme az adatvédelem. A Nemzeti Adatvédelmi és Információszabadság Hatóság (NAIH) már 2014-ben különböző ajánlásokat fogalmazott meg a drónokkal kapcsolatos adatvédelmi kérdésekről [14]. Az ajánlásokban felhívta a figyelmet a drónokkal – speciális jellegükből adódóan – folytatható különleges adatszerzési lehetőségekre és az ezekkel szembeni jogi úton történő fellépés lehetőségeinek korlátozott voltára. Az új technológiák és műszaki megoldások elterjedésével gondolni kell arra is, hogy ezek miként befolyásolják a polgárok életét, hogyan és milyen kihatásai vannak a magánéletre, és befolyásolják-e az újdonságok az emberek mindennapi életét.

A hazai szabályozás kiemelt hangsúlyt fektette arra, hogy az állampolgárok magánélethez fűződő jogai ne csorbuljanak.

5.1. Az eseti légtér szükségessége és alapvető szabályai

A magánélet védelmének egyik eleme, hogy lakott terület feletti légtér drónnal kizárólag eseti légtér kijelölése esetén vehető igénybe [5, 5. § (3) bek.]. Ez alól a pilóta nélküli játék légi járművek képeznek kivételt, amelyeket – többek között – az különböztet meg a többi dróntól, hogy nincs rajtuk olyan érzékelő (kamera, mikrofon), amivel személyes adatok rögzíthetők lennének.

Eseti légtér kijelölése kérelem útján történik, amely kérelmet a katonai légügyi hivatalnak (Honvédelmi Minisztérium Állami Légügyi Főosztály) kell benyújtani, legalább 30 nappal a tervezett művelet előtt [15]. Ezen kijelölési eljárásért szolgáltatási díjat kell fizetni

(9000 Ft) [16, melléklet 113. sor], [17, melléklet 586. sor]. Az eseti légtér legfeljebb 7 napra igényelhető, az alábbi adatok megadásával:

- Kérelmező és adatai;
- Légtérigénylésért felelős személy adatai – aki a helyszínen a műveletet biztosítja;
- Eseti légtér határai (oldalhatár és alsó, valamint felső magasság);
- Eseti légtér igénybevételének dátuma, a kezdő és befejező időponttal;
- Művelet célja (hierarchikusan egymásra épülő rendben: szabadidős célú, gazdasági célú, állami szerv feladat-végrehajtása);
- Egyéb a művelet elvégzése céljából releváns információk (például biztonsági felmérés, képzettséget igazoló dokumentumok stb.).

Amennyiben egy adott helyszínre eltérő célokkal igényelnek eseti légteret, úgy a hierarchiában magasabb célú légtér-igénybevételi szándék felülírja az alacsonyabb műveleti célt.

5.2. Az adatkezelési tájékoztatás és hozzájárulás

Az eseti légtér kijelölése szükséges, de nem elégséges feltétele az adatvédelmi rendelkezéseknek való megfelelésnek. Az üzembentartó az eseti légtérben végzett művelet során köteles beszerezni azon ingatlanok tulajdonosainak és/vagy lakóinak hozzájárulását, akik felett átrepül, amennyiben személyes adatok kezelésére kerül sor (például olyan felvétel készül az adott személyről, amely alapján beazonosítható lesz) [18, 5. § (1) bek.]. Tekintettel arra, hogy egy városi környezetben végzett művelet esetén minden lehetséges érintett hozzájárulásának beszerzése nehézségekbe ütközik, az üzembentartóknak előzetes adatkezelési tájékoztatást kell adniuk a repüléssel érintett személyek számára arról, hogy miképpen tiltakozhatnak személyes adataik kezelése ellen.

Annak érdekében, hogy az esetleges visszaélésektől eltántorítsa az üzembentartókat, a jogalkotó új szabálysértési és büntetőjogi tényállásokat is bevezetett az adatvédelmi és a magánélet védelmét érintő jogsértések szankcionálására [19, 166. §; 229. §], [20, 422/A. §].

Ahogy a NAIH ajánlása is utalt rá, a drónok esetében mind az adatrögzítő eszköz, mind a vele megvalósított adatgyűjtés atipikus, a jogrendszer által korábban nem volt ismert. Ezért a jelen cikkben ismertetett jogi eszközök feltehetőleg az első lépések a drónokkal kapcsolatos adatvédelmi problémák kezelésére, ugyanis a technika fejlettsége lehetővé teszi, hogy kereskedelmi forgalomban kapható drónokat olyan kamerával szereljenek fel, amely messze a lakott terület határától is képes az azon belül tartózkodó személyekről felvételt készíteni és személyes adatokat gyűjteni. Feltehetőleg a hatósági és bírósági joggyakorlat lesz az, amely e szabályokat valódi tartalommal feltölti, illetve azok későbbi finomhangolásának irányát kijelöli.

6. Összefoglaló

Az új drónjogszabályok megjelenésével alapjaiban változnak meg a drónhasználati lehetőségek. Az EU-s jogszabályok egy általánosan követendő keretrendszert határoznak meg a tagállamok számára, amelytől adott esetekben eltérhetnek, és szigorúbb szabályokat alkothatnak meg. Magyarország élt ezzel a lehetőséggel, és számos területen szigorított. Ez a jogalkalmazási

megoldás egyben előremutató is, hiszen várható, hogy a jövőben olyan EU-s szabályozási megoldások fognak napvilágra kerülni, amelyek sok esetben a magyarhoz hasonló működési megoldásokat igényelnek. Ilyenre jó példa az eszközregisztrációs kötelezettség vagy a vizsgáztatás rendszere.

A mű az NKFIH-866-5/2020 iktatószámú Megállapodás alapján az NKFI Hivatal és az Innovációs és Technológiai Minisztérium által biztosított támogatással, a Biztonsági Technológiák Nemzeti Laboratórium finanszírozásával valósult meg.

Hivatkozások

[1] Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2018/1139 Rendelete (2018. július 4.) a polgári légi közlekedés területén alkalmazandó közös szabályokról és az Európai Unió Repülésbiztonsági Ügynökségének létrehozásáról
[2] A Bizottság (EU) 2019/945 felhatalmazáson alapuló rendelete (2019. március 12.) a pilóta nélküli légijármű-rendszerekről és a pilóta nélküli légijármű-rendszerek harmadik országbeli üzembentartóiról
[3] A Bizottság (EU) 2019/947 végrehajtási rendelete (2019. május 24.) a pilóta nélküli légi járművekkel végzett műveletekre vonatkozó szabályokról és eljárásokról
[4] Az Európai Unióról szóló szerződés és az Európai Unió működéséről szóló szerződés (2016/C 202/01)
[5] 1995. évi XCVII. törvény a légi közlekedésről
[6] European Commission: DG DEFIS 1st. ADCO Drones Meeting november 7, 2020.
[7] République Française, *Enregistrement d'un drone (Service en ligne).* Online: www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/R52123
[8] Közlekedéstudományi Intézet: *Drónpilóta alapképzés.* Online: www.kti.hu/dron-tajekoztato/jelentkezes-kepzesre-vizsgaztatas/
[9] 6/2021. (II. 5.) ITM rendelet a távoli pilóták képzését és vizsgáztatását végző szervezetek kijelöléséről, a távoli pilóták képzésének és vizsgáztatásának részletes szabályairól, valamint a vizsgán való részvétel díjáról
[10] Az Európai Parlament és a Tanács 785/2004/EK Rendelete (2004. április 21.) a légifuvarozókra és légi járművek üzembentartóira vonatkozó biztosítási követelményekről
[11] A Bizottság 923/2012/EU végrehajtási rendelete (2012. szeptember 26.) a közös repülési szabályok és a léginavigációs szolgáltatásokra és eljárásokra vonatkozó működési rendelkezések meghatározásáról
[12] 39/2001. (III. 5.) Korm. rendelet a légi közlekedési kötelező felelősségbiztosításról
[13] Austrocontrol, *Sicherheit, Datenschutz und Versicherung.* Online: https://online-kurs.dronespace.at/online-kurs/lehrmaterial/luftrecht-und-sicherheit/sicherheit-datenschutz-und-versicherung/
[14] Nemzeti Adatvédelmi és Információbiztonság Hatóság, *A Nemzeti Adatvédelmi és Információszabadság Hatóság ajánlása a drónokkal megvalósított adatkezelésekről.* Online: http://naih.hu/files/ajanlas_dronok_vegleges_www1.pdf
[15] 4/1998. (I. 16.) Korm. rendelet a magyar légtér igénybevételéről

[16] 531/2017. (XII. 29.) Korm. rendelet az egyes közérdeken alapuló kényszerítő indok alapján eljáró szakhatóságok kijelöléséről
[17] 3/2002. (VI. 20.) GKM rendelet a légi közlekedéssel kapcsolatos hatósági eljárások díjairól
[18] 2011. évi CXII. törvény az információs önrendelkezési jogról és az információszabadságról
[19] 2012. évi II. törvény a szabálysértésekről, a szabálysértési eljárásról és a szabálysértési nyilvántartási rendszerről
[20] 2012. évi C. törvény a Büntető Törvénykönyvről

Deviations from the EU Drone Regulations in the Hungarian Legislation

In 2018, the new EU regulation (2018/1139) of the common rules in the field of civil aviation and establishing a European Union Aviation Safety Agency (also known as the Basic Regulation) entered into force. The significance of the current Basic Regulation is given by the fact that it devotes a separate section (Section VII) to the unmanned aerial vehicles, extending the regulation of the European Union to the drones with a maximum take-off mass less than 150 kg, which regulation topic was extended by detailed rules. In the article, the authors present the deviations of the Hungarian drone legislation from the EU framework which is in force since January 1, 2021.

Keywords: *unmanned aerial vehicle, unmanned aircraft system, drone regulation, drone legislation, flight missions, implementing regulations, UAV, UAS*

Dr. Sándor Zsolt légi közlekedési szakértő KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. Légiközlekedési Kutatóközpont sandor.zsolt@kti.hu orcid.org/0000-0002-5678-6760	Zsolt Sándor, PhD aviation expert KTI Institute for Transport Sciences Non-profit Ltd. Research Centre for Air Transport sandor.zsolt@kti.hu orcid.org/0000-0002-5678-6760
Dr. Pusztai Máté légi közlekedési szakértő KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. Légiközlekedési Kutatóközpont Pusztai.mate@kti.hu orcid.org/0000-0001-6983-4554	Máté Pusztai, PhD aviation expert KTI Institute for Transport Sciences Non-profit Ltd. Research Centre for Air Transport Pusztai.mate@kti.hu orcid.org/0000-0001-6983-4554

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
33. évfolyam (2021) 1. szám 39–47. • DOI: 10.32560/rk.2021.1.4

Felkai Péter

Az űrhajósok is karanténban voltak

Az űrhajózás kezdetekor a kozmoszból behurcolt kórokozó mikroorganizmusoktól tartottak a szakemberek. Ezért az ősi járványmegelőző módszert, a karantént alkalmazták az űrből jövő fertőzések megakadályozására. Azonban a 2020. évben nem a kozmoszból, hanem a Földről jött egy újonnan megjelent víruspandémia. Jelenleg majdnem olyan hatásos gyógymódok nélkül állunk, mint amilyen tehetetlenül a régiek álltak a járványaikkal szemben. Az űrorvostan egyik prevenciós lehetőségét, a karantenizáció történetét mutatja be a Szerző, az Apollo-11 küldetéstől napjainkig, a Covid-19-fertőzés megelőzésére tett űrhajózás-biztonsági intézkedésekig.

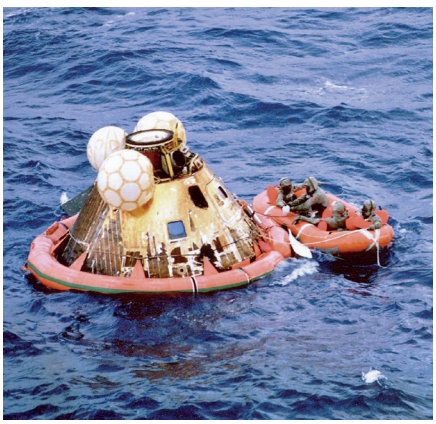
Kulcsszavak: *Covid-19, űrhajózás, karantén, járvány, Holdra szállás*

Jövőre lesz 50 éve, hogy az egyezményes koordinált világidő szerint 1969. július 20-án 20:17-kor az emberiség történetében először Neil Armstrong amerikai űrhajós a Holdra lépett. A hidegháborús korszak, az USA és az űrhajós beírta magát a történelembe. Maga az űrben való utazás a Holdon való tartózkodással együtt csak 4 napig tartott, azonban az egész űrutazás 24 napra terjedt ki. Ugyanis a három űrhajóst, a Földre való visszaérkezésük után karanténba helyezték.

Neil Armstrongot, Edwin Aldrint és Michael Collinst a Columbia, az Apollo-11 űrhajó parancsnoki moduljának Atlanti-óceánra való leszállásakor azonnal izolációs ruházatba bújtatták, amelyet a speciálisan kiképzett búvármentő nyújtott be a kabinba (1. ábra). Az űrhajósruhákat nátrium-hipoklorittal (azaz közönséges hypo-oldattal) dörzsölték le, az űrhajókabin felszínét pedig Betadin oldattal mosták le. Mindezt az esetleges, a Hold felszínéről érkező fertőzés elkerülése érdekében tették.

Az űrből érkező idegen testek a légkörben elégnek. Így a kozmoszeredetű, lehetséges mikroorganizmusok eddig nem érték el a Földet. Az Apollo által begyűjtött holdfelszíni geológiai minták, illetve maguk az űrhajósok ruházata, amely holdporral volt fedve, hordozhatott volna a Holdon honos mikroorganizmusokat, bár a Hold felszínén is gyakorlatilag űrbéli körülmények uralkodnak. Még az űrhajósok teste is fertőzőforrásként szerepelhetett, a holdjáráskor viselt sisakot ugyanis a „Sas" leszálló modulban pihenéskor levetették. A leszállómodulból visszatért két holdjáró viszont fertőzőforrásként megfertőzhette volna Collinst, aki a visszatérő modulban vezényelte le a holdraszállást. Ezért kellett az űrből visszatérőket izolálni. A szakemberek talán tudták, hogy az űr steril, de a biztonság kedvéért, no meg talán a közvélemény megnyugtatására, karantént határoztak el egy meglehetősen vaskos dokumentumban, amely *Az Apolló program biomedicinális eredményei* címet viselte. Talán tudat alatt közrejátszhatott a sok sci-fi (például Michael Crichton *Az Andromeda törzs* című techno-thrillere), amelyekben a Föld katasztrófáját az űrből érkező fertőzés okozza. Ezért az amerikai Nemzeti Tudományos Akadémia már 1960-as években felvetette az űrhajózás

kapcsán a földönkívüli fertőzés lehetőségét [9]. A Földönkívüli Ártalmak Törvénye [4] volt a népszerű elnevezése annak a törvénynek, amelyet az USA kormánya 1969-ben léptetett életbe. A jogszabály célja az űrből származó kórokozók kontaminációjának megakadályozása volt. A törvény az Apollo-11 űrhajósainak karanténba helyezését törvényesítette. 1967-ben az ENSZ égisze alatt megszületett az „Űregyezmény", amely az ilyenfajta veszély elkerüléséről is rendelkezik [1].

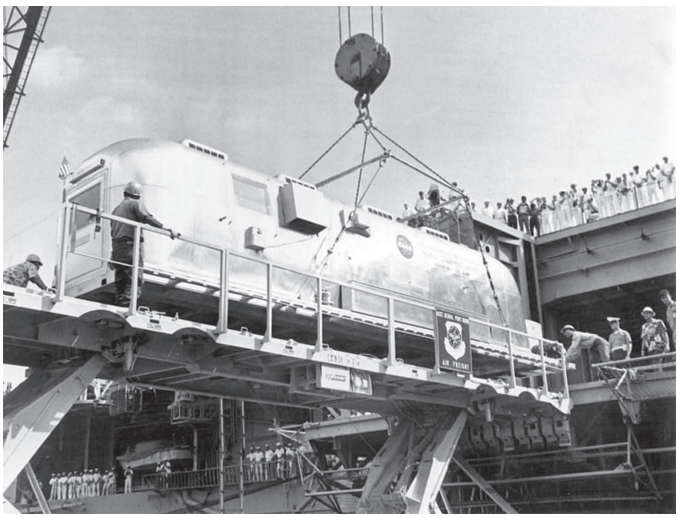


1. ábra
A speciálisan kiképzett búvármentő a kabin ajtaján beadja a védőfelszerelést (NASA/Wikipedia szabad felhasználású felvétele) [10]

2. ábra
A vegyvédelmi ruhába öltözött űrhajósok megérkeznek a repülőgép-hordozó/mentőhajó fedélzetére [11]

A védőruhába öltözött űrhajósokat helikopterrel a közelben várakozó Hornet repülőgép-hordozóra vitték, ahol azonnal egy karanténkabinba kellett a kísérő orvossal és a modult kezelő

mérnökkel együtt beszállniuk (2. ábra). Az amerikai ikonként is ismert, alumíniumvázas 4 darab, Airstream lakókocsiból kialakított 11 m hosszú mobil karanténból négy darab készült (3. ábra).



3. ábra
A hordozható karantént a Hornet repülőgép-hordozó fedélzetére emelik [12]

Néhány aggályos mozzanata azonban volt a procedúrának. Az űrhajósok, mielőtt az amerikai hadseregben használatos vegy- és biológiai védelmet szolgáló ruházatot felvették, kibújtak az űrhajósruhájukból, és azokat fertőtlenítették. A lemosáshoz használt textilt azonban bedobták az óceánba [6]. A kabinból az űrhajósokat kimentő gumicsónakot is elsüllyesztették. Kissé felületesnek látszanak ezek az intézkedések, mivel nem biztos, hogy az idegen mikroorganizmusok az óceán fenekén elpusztultak volna.

A repülőgép-hordozón az USA akkori elnöke, Richard Nixon várta az űrhajósokat (4. ábra).

4. ábra
Nixon, az USA akkori Elnöke üdvözli a karanténba zárt űrhajósokat a hadihajó fedélzetén [13]

Az elnök után a hozzátartozók is láthatták szeretteiket. A vízből kihalászott és a repülőgép-hordozó hangárfedélzetére vitt Columbia modulból az űrhajósok egy izolált alagúton keresztül kihozták az összegyűjtött 22 kg Hold-mintát, a filmfelvételeket, és így ezek is a karanténba kerültek. A karantén negatív belső nyomással rendelkezett, tehát kifelé nem áramolhatott a levegő. A kifelé szivattyúzott levegő csíramentességét szűrők biztosították. A hatszemélyes karanténban hálóhelyek, társalgó, mosdó és konyha volt elhelyezve: szűkös hely, de még mindig tágasabb, mint amiben az asztronauták utaztak az űrben. Az akkoriban újdonságnak számító mikrohullámú sütőben a beadott steril ételt melegítették fel (5. ábra). Még a szemetet és az excrementumokat is elzárt körülmények között tartották. Az űrhajósok összesen 88 órát töltöttek a hordozható karanténban.

5. ábra
A lakóautóból szerkesztett mobil karantént az akkori legújabb technikával látták el: például mikrohullámú sütővel [14]

A repülőgép-hordozó a karanténba zárt űrhajósokkal Hawaii-ba hajózott. A Pearl Harbor-i tengerészeti támaszponton a karantént átrakodták egy C-141 típusú katonai szállítógépre, amely az anyaországba vitte a konténert és utasait. A houstoni űrbázison, egy 1967-ben külön erre a célra létrehozott épületben, a Hold Befogadó Laboratóriumban (LRL – *Lunar Receiving Laboratory*) helyezték el az asztronautákat a Holdról hozott tárgyakkal és visszatérő modullal együtt. A 23 különálló kis lakrészben az űrhajósok az őket kiszolgáló 20 fő kísérő személyzettel (és további 6 munkással, akik megszegték a karantén-előírásokat) együtt töltötték a hátralévő 3 hetet. A 21 napos karanténidőt az USA Tudományos Akadémiájának Űrkutatási csoportja elegendőnek tartotta [7].

Az LRL-ben az űrhajósokat rendszeres egészségügyi vizsgálatoknak vetették alá. Ugyanitt kívül került sor a holdi kőzetminták tartóedényeinek felbontására, valamint az első geológiai vizsgálatokra, miközben maguk a mintákat vevő űrhajósok segítettek a minták azonosításában.

A hordozható alumíniumkaranténból végül négy darab készült, és azokat az Apollo-12, 13 és 14 személyzetének visszatérésekor használták. Az Apollo-14 feladatának teljesítése után a karanténintézkedéseket megszüntették, mert az elvégzett mikrobiológiai vizsgálatok, beleértve az állatkísérleteket és növényvizsgálatokat is, ismételten kimutatták, hogy a visszatérő

egységben, sem a holdporban, sem pedig az űrhajósok testén semmiféle fertőző, idegen anyag nincs. A vizsgált kőzetek és ruhák sterilnek bizonyultak [15]. A kőzetek karantenizálása azonban azt a célt is szolgálta, hogy a holdbéli kőzetek ne fertőződjenek a földi mikrobákkal. Egy pozitív esetet mégis találtak, de erről megállapították, hogy az a hibás földi tárolás következménye volt. Az űrhajósok 1969. augusztus 13-án szabadultak fel a karantén alól. Armstrong még a karanténban ünnepelte 39. születésnapját, amelyen az űrhajósokat a karanténban szolgálatot teljesítő szakácsok a hagyományos, gyertyával díszített tortával ünnepelték (6. ábra).

6. ábra
Neil Armstrong a 39. születésnapját ünnepli a karanténban [16]

A feleslegessé vált kamrákat múzeumba helyezték, illetve a NASA eladta. Az egyik kamra különösen hasznos volt, amikor amerikai tudósok Sierra Leonéből az ottani ebolajárvány tanulmányozása után tértek haza, és a CDC-nek (*Center for Disease Control* – az amerikai egészségügyi hatóság) eladott mobil karantént a tudósok izolálására használták.

Az űrből behurcolt fertőző ágensekkel egyenlő veszélyt jelentenek a földönkívüli esetleges életre azok a mikrobák, amelyeket a földi űrhajósok vihetnek az űrbe. Ha emlékezünk, a Wells által megírt *Világok Harca* című tudományos-fantasztikus regényre, ahol a marslakók pusztulnak el a földi baktériumoktól, ez a feltevés valószínűbb, mint a fordítottja. Ennek kivédésére a kilövés előtt a Cape Canaveralban lévő Kennedy űrtámaszponton létrehoztak egy külön – Neil Armstrongról elnevezett – épületrészt, ahol az indulás előtt egy héttel az asztronautákat „előkaranténban" figyelik meg (7. ábra).

7. ábra
Az LRL-ben lévő egyik izoláló helység, ahol indulás előtt az űrhajósokat a szkafanderbe öltöztetik [5]

Az óvatosság indokolt: 1970-ben, az Apollo-13 majdnem katasztrofális küldetése előtt az eredeti legénység morális okok miatt nem tűnt alkalmasnak, ezért a következő repülés várományosait jelölték a repülésre. A felkészülés végén az új legénység tartalékszemélyzeté-nek egy tagja, Charles Duke kanyarót kapott barátjának gyermekétől [8]. Mivel a tényleges és a tartaléklegénység szoros együttműködésben dolgozott (egymást váltották a szimuláto-rokban, együtt tréningeztek stb.), a mindennapos érintkezés miatt bármelyik másik űrhajós is elkaphatta a fertőzést, aki nem volt immunis a kanyaróra. A kanyaró elleni gyermekkori oltás – Magyarországgal ellentétben – az USA-ban nem kötelező. Az orvosi vizsgálatok kimutatták, hogy a fogékonysági kockázat egyedül a parancsnoki egység pilótájánál állt fenn, ezért őt nem engedték repülni. Duke-ot a többi legénység „Tifuszos Mary-nek" csúfolta, a 20. század első felének hírhedt vírushordozó szakácsnőjéről. A repülési tervet is meg kellett változtatni: a repülés előtti karantén 3 hétre terjedt ki, és a repülés utáni karantén 3 hetével együtt az űrrepülés eddigi történetének leghosszabb karanténidejének számít.

50 éve minden múzeummá vált: a Hornet repülőgép-hordozó, amely múzeumhajóként horgonyoz a kaliforniai öbölben San Francisco Alameda városrészében, a visszatérő modul, a mobil karantén 1974 óta a National Air and Space Museum (Washington-Chantilly, Virginia, USA) gyűjteményében látható. De a félelem a behurcolt betegségektől megmaradt, aminthogy a védőruha és a karantén intézménye is. 2018-ban ismét előtérbe került a karantén szerepe a Mars-expedíció kapcsán [17]. Mivel az izolációs eljárások nem kötelező jellegűek, félő, hogy az immár civil (és profitorientált) szervezetek kezébe került űrhajózás ezeket lazán értelmezi. A kellő óvatosság elmulasztása a járművek és űrutasaik csíramentes állapotban való tartását illetően veszélyeztetheti a Föld lakosságát. Az LRL-t pedig már 2019-ben lebontották.

Sajnálatos módon az űrhajózási karantén története tovább folytatódik. A Covid-19-járvány kitörésekor kétségessé vált a – jelenleg Bajkonurról induló – Nemzetközi Űrállomás (ISS – *International Space Station*) menetrendje. A fedélzetre vitt fertőzést kivédendő, komoly intézkedésekre van szükség, hiszen az űrhajósok 6 hónapig kell hogy a modulban maradjanak.

A start előtti 2 hetes karantént 4 hétre hosszabbították meg. Minden a hordozórakétával és a személyzet ellátásával kapcsolatos tárgyat fertőtlenítenek, és a kisegítő személyzetnek a tevékenységük közben védőruhát kell viselniük [3]. Sőt az előzetes karanténba helyezik – munkájuk megkezdése előtt – a segítő személyzet tagjait is.

Mivel az űrbéli tartózkodás gyengíti az immunrendszert [2], ezért az esetleges Covid-fertőzés komoly következményekkel járhat az űrállomáson. Erre felkészülve az űrállomás gyógyszerkészletét és orvosi eszközeit kibővítették. A Covid-gyorsteszt mellett a fertőzés gyógyítására szolgáló egyéb gyógyszerek is belekerültek a jelentősen kibővített űrhajóspatikába [18], amelynek tartalmát csak bírósági ítélet után volt hajlandó a NASA nyilvánosságra hozni. A Covid okozta légzési nehézségeket az újonnan mellékelt pulzoximéter segítségével már korán észlelni lehet. Mivel a mentőűrhajó fellövése is napokat vehet igénybe, az űrhajósoknak fel kell készülniük társuk intubálására, lélegeztetésére és az esetleges újraélesztésére. Mindez – hiába gyakorolják a manővert a felkészítés során – bonyolult és veszélyes művelet a súlytalanság állapotában (8. ábra).

8. ábra
Újraélesztési és lélegeztetési gyakorlat a súlytalanság állapotában [19]

Mindenesetre az űrhajósok karanténtapasztalatai segíthetnek a Covid-járvány alatti otthoni egyedüllét pszichikai ártalmainak túlélésében.

Hivatkozások

[1] United Nations Office for Outer Space Affairs, 2222 (XXI). Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies. Online: www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/outerspacetreaty.html

[2] T. Akiyama, K. Horie, E. Hinoi, et al., "How does spaceflight affect the acquired immune system?" *npj Microgravity,* vol. 6, no.1, 2020. Online: https://doi.org/10.1038/s41526-020-0104-1

[3] E. Berz, "This is How NASA Keeps Covid-19 – And Other Diseases – Off the Space Station," *Discover Magazine,* April 1, 2020. Online: www.discovermagazine.com/the-sciences/this-is-how-nasa-keeps-covid-19-and-other-diseases-off-the-space-station

[4] Extra-Terrestrial Exposure Law, Code of Federal Regulations, 14 CFR §1211f

[5] NASA, *Astronaut Crew Quarters Being Prepped for Return to Human Spaceflight from American Soil.* 2018. Online: www.nasa.gov/feature/astronaut-crew-quarters-being-prepped-for-return-to-human-spaceflight-from-american-soil

[6] P. Ratner, *Moon landing astronauts reveal they possibly infected Earth with space germs.* Big Think, 2019. Online: https://bigthink.com/surprising-science/moon-landing-astronauts-infected-earth-space-germs?rebelltitem=1#rebelltitem1

[7] R. S. Johnston, J. A. Mason, G. W. McCollum et al., *The Lunar Quarantine Program Biomedical Results of Apollo.* Sect V., Chapter 1. Lyndon B. Johnson Space Center, 1963.

[8] C. M. Jones, *Duke Moonwalker.* Rose Petal Press, 2011.

[9] "Minutes meeting of the Exobiology Committee of the Space Science Board, Feb. 20, 1960," in Space Science Board, *Conference on Potential Hazards of Back Contamination from the Planets, July 29–30, 1964* (advance copy), no date Aug. 1964, 9–13.

[10] NASA National Air and Space Museum felvétele S69-21698 NASA/Wikipedia szabad felhasználású felvétele.

[11] NASA National Air and Space Museum felvétele S69-40753. Online: https://airandspace.si.edu

[12] NASA National Air and Space Museum felvétele Ap11-69-H-1223. Online: https://airandspace.si.edu

[13] NASA National Air and Space Museum felvétele S69-21365. Online: https://airandspace.si.edu

[14] NASA National Air and Space Museum felvétele S69-40210. Online: https://airandspace.si.edu

[15] G. R. Taylor, B. J. Mieszkuc, R. C. Simmonds et al., "Quarantine testing and biocharacterization of lunar materials," in *SP-368 Biomedical Results of Apollo,* V. Sect., II Ch. Online: https://history.nasa.gov/SP-368/s5ch2.htm

[16] NASA National Air and Space Museum felvétele Ap11-S69-40958HR

[17] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Review and Assessment of Planetary Protection Policy Development Processes.* Washington, DC, The National Academies Press. 2018. Online: https://doi.org/10.17226/25172

[18] National Aeronautics and Space Administration (NASA) *Emergency Medical Procedures Manual for the International Space Station (ISS)* [partial], 2016 FOIA Request NASA Headquarters, 2016.

[19] N. C. Skinner, W. L. Thompson, *C-9 and Other Microgravity Simulations.* Summary Report, Space and Life Sciences Directorate, Houston, Lyndon B. Johnson Space Center, 2017. Online: www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/505836main_FY07_TM-2007-214765.pdf

Astronauts Were Quarantined, Too

In the dawn of space flight scientists were very much afraid of microorganism-caused infections imported from space. That is why they suggested the application of the old method of quarantine in order to block space-origin infections. Unfortunately, a new pandemic has come from the Earth, not from space in 2020. In this moment mankin„ similarly to our ancestors, has no effective therapy against the pandemic. One of the prevention possibilities of COVID-19 infection for astronauts is quarantine. The present article describes the history of the astronautical use of quarantine.

Keywords: *COVID-19, quarantine, pandemic, infection control, spaceflight*

Prof. Dr. Felkai Péter	Péter Felkai, MD, PhD
c. egyetemi docens	Associated Professor
Debreceni Egyetem	Debrecen University
Általános Orvos Kar	Faculty of Medicine
Belgyógyászati Intézet	Department of Internal Medicine
Anyagcsere Nem önálló Tanszék	Metabolism Faculty
Utazásorvostan Csoport	Travel Medicine Group
Peter.felkai@soshungary.hu	Peter.felkai@soshungary.hu
orcid.org/0000-0003-0319-6339	orcid.org/0000-0003-0319-6339

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
33. évfolyam (2021) 1. szám 49–57. • DOI: 10.32560/rk.2021.1.5

Zoltán Dudás

Interpretations of Human Error in Aviation

The author attempts to describe whether the human errors in aviation could be taken out of the system, or otherwise they are useful and prevention methods could be based on them. The human error, as parts of safety philosophy, are examined by many theories like the Reason theory, the SHEL(L) theory, and the SRK theory. Although, approaches and perspectives from which they circumscribe most of the frequent types of human error are different theories and conclusions have some similarities. One common element of them is, that they could not tell whether human error is acceptable or unacceptable. So as to answer this question the author points out the difference between old fashioned and modern safety philosophies.

Keywords: *decision making, flight safety, human error, human factor, Reason theory, SHEL(L) theory, SRK theory, system model*

1. What is Human Error?

Human error as a term used in everyday life does not mean the same thing to everyone. Even if the phrase is well understood, since it makes sense in itself, we cannot be sure that we mean the same thing. Mistake is associated with all human activities. This is not the case with safety-sensitive systems so we have to reckon with the fact that human imperfections in the aviation system, which are usually identified as human error, also contribute greatly to incidents in aviation. The consequence of errors in most cases is that the outcome of the flight is somewhat different from normal. This in itself does not mean that flight safety is greatly reduced by a single failure, but rather the combination of several failures can lead to a serious aviation incident. The fundamental differences in interpretation are caused by the fact that the concept of human error can be relevant from at least several different equivalent points of view. In this way, the concept can be interpreted as the cause of a problem, an event, or a consequence of something. The three views, of course, affect the interpretation of the error as follows:

- **blame,** when the focus is on the action that is the presumed consequence of the event (accident, incident) that occurred;
- **an event,** that emphasizes human action regardless of whether the error led to adverse consequences. Subjectively assessed, the impression of the errant in this case is in fact, that he erred, since a missed step in the checklist is assessed as an error even if it had no tangible consequences;

- **a consequence,** that highlights the result of the error. In this the interpretation is twofold. According to the first and most obvious approach, there is an inseparable, direct causal relationship between human error and adverse consequence. In this case, the close causal relationship actually combines the wrong action with the consequence.

According to the other approach human error has a latent but clear detrimental effect. The interpretation also implies that human errors are latently hidden in the system, even if they are repeated, and although they do not manifest they exert their harmful effects [1].

1.1. Human error in descriptive models

The concept of flight safety, including human error, is explained by several theories such as the Reason model, the SHEL (L) model, and the SRK model. Given that a significant proportion of errors, such as aviation incidents, originate in the field of the human factor, research has been aimed at finding and explaining the human error and other factors that have led to it for decades.

1.1.1. Reason model

The most widely known model was developed by James Reason. The basic idea of the model is that to prevent it, it is necessary to find the underlying causes of human error through a kind of event investigation chronology. The concept is based on exploring deep correlations that explore the evolution of error step by step, thus revealing the dormant factors that, when conserved in organizational culture, rules, or other factors, pre-encode the possibility of human error. The model here contrasts sharply with the outdated interpretation of human error, where "man in the flight system is nothing more than statistically proven to be the main cause of aviation incidents, so a "necessary evil" [2]. According to the outdated notion, a safe technical system must be protected from the human factor and its role in the operation of the system must be reduced by automation. In contrast to the modern notion where we must accept that the aviation system is fundamentally unsafe. Therefore, it carries risks and human error is not the result of accidental malfunctioning of the system, but other problems lurking in the system. Thus, between the event investigation steps, we need to make the analysis of human error the starting point of the investigation and not the end point. Otherwise, we can easily fall into the error of blaming without revealing the more distant correlations with the factors that led to the event that contributed to the human error. The central theme of Reason's research is this modern safety philosophical approach in which the development of fault models plays an important role. According to the focus of the model, there are basically three types:

- person-centric model
  Concept: He views human error as a psychological factor. It traces the error back to the functioning of mental processes, stubbornness, inattention, forgetfulness. Hence, he finds the main cause of the error in the wrongdoer, and sees the solution

in its naming, punishing, shaming, and intimidating. It solves the problems that arise with more and more regulatory acts.
The downside is that it removes the error from its context and is therefore ineffective in exploring deeper connections.

- ✈ legal-centric model
  Concept: Aviation professionals are responsible for their actions, so they should not make mistakes. Although errors are rare, no matter how small, they are just enough to cause damage. The mistakes that led to aviation incidents are the result of negligence and recklessness, actions that deserve exemplary punishment.
  The disadvantage is that since most errors do not lead to an aviation incident, a more serious case has to wait for the correction to take effect.
- ✈ system-centric model
  Concept: Imperfection is part of human nature. Adverse effects do not stem from undetectable mysterious factors. First-line professionals are not the cause but the heirs of the imperfection of the system. Preventive action is based on strengthening lines of defense (technical systems, training, rules) and neutralizing traps lurking for the human factor [3].

1.1.2. SHEL (L) model

The SHEL (L) model is a multidimensional version of the traditional HME (human-machine-environment) model, in which the human element is an equal factor to rules (software), technical systems (hardware) and the environment (liveware) is displayed [4]. The page of the model has the insight that the degree of integration of system components and the level of interconnection not only influence the relationship and cooperation of the elements but also determine the operational quality of the system as a whole. If we look at this operational quality for safety, every connection of each element adds to the level of safety of the system as a whole. We now omit the complete analysis of the model here but it is worth noting that the model has evolved from the original concept insofar as it now interprets the human factor and the connections within it not only in itself but also in its dimension. This means that the model is also able to examine the relationships within system components, so that LL and LE connections are also interpreted in terms of human interactions. Thus, similar to the Reason approach, the effects of organizational and social environment on safety and human effects within this factor may also be at the forefront of the study.

1.1.3. SRK model

A behavior-based approach to human error was examined by Rasmussen. Its decision-making model uses the tools of behavior and cognitive psychology and can be applied to many systems that require precise decisions, including the flight system. Your system differs by three levels, each of which carries the potential for error. These are:

- ✈ a level of proficiency where the activity is carried out almost without thinking and with little attention;

- the rules-based level where the rules are consciously applied after the situation has been assessed;
- the knowledge-based level where, in the absence of ready-made solutions in a new and unexpected situation, the acquired knowledge and experience need to be used creatively [5].

In terms of the elements of aviation activity they are based on continuous human decision chains that can be accurately matched to one of the SRK levels and in general it can be said that proficiency, rules, and knowledge are of great importance in the flight system as well. Therefore, the application of the SRK model can be applied to decision-makers in the aviation system without much difficulty. Examining the nature and context of human error more broadly, drawing on the concepts of the models already outlined, the most typical types of human error fit certain elements of the model concepts, such as:

- disregard for rules (rule violation) can be interpreted at the R (rule) level of the SRK model, but also in the S-L (rule-man) relationships of the SHEL (L) model and in the person- and legal-centered approaches of the Reason model;
- procedural errors can be interpreted at the R (rule) level of the SRK model, but also at the S-L connections of the SHEL (L) model if the procedure is faulty, or at the K (knowledge) level if the procedure is not known. Among the lines of defense presented in the Reason model, training and refinement of rules may also suggest avoiding procedural errors;
- communication failures may be detected more narrowly within or between flight crew or organizations or even about the wider political or social environment. In the former cases, for example, unclear procedures, tasks, competencies, in the latter case, undeclared goals and undeclared commitment to safety can be cited as examples. Among the presented models, the L-L and E-L connections of SHEL (L) are worth mentioning;
- proficiency-based errors refer to the S (proficiency) level of the SRK model, but parallelism can be detected with the training among the lines of defense of the Reason model, which in this case should be interpreted as proficiency-enhancing practical training;
- erroneous decisions made at the operational level, mostly related to the SHEL (L) and Reason models, if the former's L-L (human-to-human) and E-L (environment-human) relationships and the latter's modern safety perception point to the safety implications of operational decisions inside and outside the organization [6].

1.2. Interconnections amongst interpretations

Among the outlined conceptions of human error the Reason model points to the fact that the actions of those operating in the flight system are at the same time preconditions for the actions of others. The modern conception of human error highlights that the rigid philosophy of safety according to which human error is bad and must be combated, raises unrealistic expectations as it does not accept that the flight system becomes operational through no fault of human activity, and as such itself is imperfect. In changing, information-poor and

often contradictory operational conditions, a flawless activity cannot be expected, so perfect safety and flawless human activity cannot be realistically achieved. The problem of different interpretations of human error does not end with the diversity of perspectives. The mention of an error in most cases also implies a judgment if the act which causes or may cause an adverse consequence is weighed together with the person causing it, so that the correctness or incorrectness of the act is also judged.

This in itself is an oversimplification as human actions – especially in aviation – seldom influence the development of adverse effects, alone and directly, as a chain of events and mistakes leads to an unwanted event or situation in most cases. Error, as an expression, therefore presupposes a preconception in the chain of events leading to the incident or accident, in so far as it attributes the adverse consequence to the person at the end of the chain. Thus, instead of the deep-seated, latent (organizational, cultural) factors presented in the Reason structure, the focus is on the person in the front line, his right or wrong action, offering a quick solution to explain the situation.

Hollnagel's interpretation can be criticized at this point insofar as it does not go further in its interpretation of human error as a consequence. The error, whether visible or even latent, is interesting not only for the future elimination of the harmful consequence but also because it can be regarded as a consequence in the sensei reason itself. The second step in interpreting the consequence should therefore be to understand that all dimensions of the three-level error structure (rule, proficiency, knowledge) presented according to the SRK model can carry faulty elements that are ready sources of danger for the executor, therefore their prevention or non-prevention is not professionally expected. Therefore, neither the person who erred nor the erroneous act can be judged from the point of view of professional correctness as the result of the performed operation did not intentionally deviate from what was expected. To solve the problems of the judgment-based categorization described, Hollnagel and Amalberti propose the following classification:

- well-executed operations, operations whose actual result is the same as the aims and intentions set;
- corrected operations, operations that have been carried out incorrectly in any way but which deviate from the intended purpose have been detected and corrected during the operation. In forgiving systems, similar faults are not revealed until they can be corrected;
- faulty operations, operations that were performed incorrectly in any way, deviation from the set goal was detected during the operation, but the fault could no longer be corrected due to the irreversibility of the process, lack of time, or lack of resources. The activity is considered defective;
- negligent operations, which were carried out incorrectly in any way, deviation from the intended purpose was detected during the operation but was ignored. The activity is considered defective;
- fatal operations that were performed incorrectly in any way, but no deviation from the set target was detected during the operation, so the error was not corrected [7].

2. Err for safety?

As we look at the above classification, or the theories already presented, we run into the question of whether human error, which seems unpredictable and random, can be squeezed into categories at all with any predictability. When we try to describe the human activity that operates the system of flight with theories, can we approach the variety and creativity that characterizes the activity of the human factor? Is it acceptable that the human activity that operates the system is "active and creative" in the production of errors as well?

To answer the questions, it is worth examining the role of the human factor and its contribution to aviation safety. The effectiveness of a flight safety system can be measured by the success of prevention. Measuring this success is a complex task as in this sense, measuring safety would mean measuring a lack of something, that is, a lack of aviation incidents, or even a lack of human error. This would, of course, be impossible and pointless, as it is possible to measure the consequences of shortcomings in the flight system and not their absence. The performance of aviation safety, or in other words, the efficiency of incident prevention may be illustrated by the number of aviation incidents, but it is increasingly advisable to illustrate this performance by the fulfilment of aviation safety targets [8].

The assessment of both measurement objects relies heavily on statistical methods which allow the long-term comparability of safety indicators by category and professional perspective and the exact assessment of performance targets. Without statistical comparison it is not possible to measure flight safety results with sufficient accuracy just as it is not possible to produce good statistics without an adequate database.

The safety database is uploaded by a number of data sources. The safety-conscious predictive systems are typically voluntary and mandatory reporting systems are supplemented by other data sources that ensure the flow of safety information and data within and between organizations. The primary purpose of aviation safety data collection is to channel detected and identified hazards into the aviation safety system. In contrast to more serious aviation incidents these are of lesser importance but some anomalies are easier to analyze and correct. Once in the system, these data, every day happenings of seemingly insignificant minor errors and discrepancies create the opportunity for proactive prevention through processing, risk analysis, and evaluation. The data to be processed, with regard to the origin, composition, and proportion of error factors, are about the human factor and its major or minor errors. Thus, if we were to think of human error as a malfunctioning of the system, of illuminating it, and of being able to eliminate errors from the aviation safety system altogether, statistics would be empty and analysis impossible. Such a situation cannot, of course, arise because it is impossible to banish the human element from the system. But if we look back at blaming, criminal person-centered, or legal-centered safety philosophies, we can easily see that it is possible to "disappear" a mistake with a simple negative attitude, somehow:

"Mistake is harmful, you must not make one! So the professionals follow the rules and don't make mistakes!" It is the result of this kind of safety philosophy, organizational culture and an atmosphere in which it is better to hide a mistake than it never as if it never was. From such a non-existent mistake, of course, no one will ever learn and prevention will not benefit.

In contrast, a system-centric approach that perceives error as natural does not see it as a cause, but as a consequence of more distant factors, is less likely to fall into the error of blaming. Such a modern approach to safety encourages the detection of errors, analyzes, and

documents cases without the intention of blaming. Prevention is thus able to identify and address safety threats at the level of everyday deviations before major aviation incidents occur.

The fundamental difference between the two perceptions can be seen not only in the contrast between inefficiency and proactivity but also in the presence or absence of risk awareness. The differences and the benefits of a systems-centric approach can be well illustrated using the analogy of the procedures used in statistical hypothesis testing. In the hypothesis test we try to exclude two types of errors. On the one hand, we want to avoid a situation where our assumption is not confirmed, i.e. we stop or disrupt the continuation of the activity unnecessarily so we end up crying wolf. This is called the first type of error. In the aviation safety system this would mean taking action on hazards that do not prove to be real. Fortunately, a well-functioning safety prevention system is able to filter out these quasi-hazards with risk and severity analysis tools. In this case, just as in the case of a statistical first-order error, the probability or risk can be calculated so it is accurately known.

In the other case, however, when we allow an activity to continue without ignoring the underlying problem, we bury one's head in the sand. In the statistical hypothesis test, this is called the second type of error. This means in both statistics and flight safety that a problem, such as a source of danger, is ignored and therefore not analyzed so its risk is unknown and therefore cannot be calculated. In general, but also from a professional point of view, it is always better to know about problems and be aware of the risk than to risk the unknown by sticking our heads in the sand. From an aviation safety point of view the statement is straightforward as is the recognition that a system-based safety approach is more supportive of a more effective prevention system than a person-centered or legal-centered approach. So the question of whether we should make a mistake for safety can now be answered. Theories describing flight view human error from different perspectives and most likely do not provide a reassuring solution to eliminate it. At the same time it is worth asking the question, is it necessary to aim at reducing the number of human errors at all? The answer to this is provided by a modern, non-blaming, system-centric safety philosophy that sees failure as an opportunity. The potential for human error to come to light should be the focus of safety analysis and ultimately serve prevention. From this point of view an error is a useful thing, not a violation to be prosecuted, contrary to the ideas of the person and legal-centered models.

3. Summary

Flight safety depends on several factors but the human factor occupies a prominent place among them as a significant proportion of aviation incidents can be traced back to this area. That's why, when we talk about a human factor, most of the time we think of some kind of human error that triggered the event. So the obvious idea is that eliminating human error will lead to improved safety. However, this approach also leaves room for inhumane perceptions that see the solution in punishment as well as in ever-new regulations. These solutions are accompanied by the stigmatization of the error made as well as the denial of the appropriateness of the error. The solution is thus counterproductive as it triggers the concealment of the error, thus depriving the prevention of useful experience that can be drawn from the error. In contrast, accepting that error is inherent in human nature leads to a level of rationality where

the error is no longer a necessary evil but an opportunity for prevention, provided that their analysis can address and prevent more serious problems before they develop.

References

[1] Hollnagel, E. & Amalberti, R. *The Emperor's New Clothes, or whatever happened to "human error"?* 4th International Workshop on Human Error; Linköping, 2001. June 11-12
[2] Dudás Zoltán: A humán tényezők és a CRM elvek jelentősége a távirányítású pilótanélküli légijárművek műveleteiben; *Repüléstudományi Közlemények*, 2013/3, pp. 316. ISSN 1789-770X
[3] Reason, J.: Human factors; A personal perspective; Human Factors Seminar, Helsinki, 2006. Feb.13.
[4] Dudás Zoltán: A humán tényezők és a CRM elvek jelentősége a távirányítású pilótanélküli légijárművek műveleteiben; *Repüléstudományi Közlemények*, 2013/3, pp. 315.
[5] Human Factors/CRM in Aviation, (Content book), Joint Aviation Authority Training Organisation, 2012. Hoofddorp, pp. 102.
[6] Human Factors/CRM in Aviation, (Content book), Joint Aviation Authority Training Organisation, 2012. Hoofddorp, pp. 106.
[7] Dudás Zoltán: A humán tényezők és a CRM elvek jelentősége a távirányítású pilótanélküli légijárművek műveleteiben*; Repüléstudományi Közlemények*, 2013/3, pp. 315. ISSN 1789-770X
[8] Dudás Zoltán, Fábián Anikó: Repülésbiztonság irányítási rendszerek*; Repüléstudományi Közlemények*, 2012/2, pp. 1030. ISSN 1789-770X

Az emberi hiba értelmezése a repülésben

A szerző megkísérel választ adni arra a kérdésre, hogy van-e értelme az emberi hiba eltávolítását célzó tevékenységeknek a légi közlekedésben. Vagy éppen ellenkezőleg más úton válhat hasznossá. Például úgy, hogy a prevenció eszközévé válik. A repülés biztonságfilozófiájával, ezen belül a humán faktorral és az emberi hibával elméleti modellek (Reason modell; SHEL(L) modell; SRK modell) foglalkoznak. A modellek eltérő nézőpontjaik ellenére szinte kivétel nélkül alkalmasak az emberi hiba leírására, így bizonyos pontokon hasonlóságokat és átfedéseket mutatnak. Ugyanakkor teljes egészében nem adnak kielégítő választ az emberi hiba elfogadhatóságára vagy elfogadhatatlanságára. A kérdést a szerző a túlhaladott és a modern biztonságfilozófia elemeinek bemutatásán keresztül válaszolja meg.

Kulcsszavak: *emberi tényező, emberi hiba, Reason modell, rendszermodell, repülésbiztonság, SHEL(L) modell, SRK modell*

Dr. Dudás Zoltán alezredes, adjunktus Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék dudas.zoltan@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-8682-884X	Zoltán Dudás, PhD Lieutenant Colonel, Assistant Professor University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aerospace Controller and Pilot Training dudas.zoltan@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-8682-884X

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
33. évfolyam (2021) 1. szám 59–67. • DOI: 10.32560/rk.2021.1.6

Bali Tamás

A hazai légi kutatás-mentés átalakulása a H145M helikopter hadrendbe állításával

A Magyar Honvédség fegyvernemei a Zrínyi 2026 Honvédelmi és Haderőfejlesztési Programnak köszönhetően újabb és újabb fegyverzettechnikai eszközökkel gazdagodtak és majd gazdagodnak a jövőben. A fejlesztés egyik fő iránya a forgószárnyas képességek fokozására koncentrál. A hadrendbe állított H145M helikopterekkel a honvédségnél új képességek jelennek meg, amelyek közül az egyik legfontosabb az, hogy országos szinten megnövelt képességű kutató-mentő szolgáltatás lesz biztosítható. Ehhez azonban részletekbe menően kell foglalkozni a képesség-összetevők formálásával. Jelen tanulmányomban ezeket a feladatokat elemzem.

Kulcsszavak: *légi kutatás-mentés, H-145M, Magyar Honvédség*

1. Bevezetés

A Magyar Honvédség manapság az átalakulás, a technikai megújulás időszakát éli. A haderőnemek, illetve azok fegyvernemei a Zrínyi 2026 Honvédelmi és Haderőfejlesztési Programnak köszönhetően újabb és újabb fegyverzettechnikai eszközökkel gazdagodtak és majd gazdagodnak a jövőben. A fejlesztés egyik fő iránya a légi mozgékonyságra koncentrál, ezen belül pedig a forgószárnyas képességek fokozására.

2018. június 29-én a Honvédelmi Minisztérium és az Airbus Helicopters között aláírták azt a szerződést, amely alapján 2021. első negyedévének végéig 20 darab H145M helikoptert szállítanak le hazánkba [1]. Ezzel együtt megállapodás született a helikopterek földi és légi üzemeltetését biztosító szakállomány kiképzésére is. Mind a repülő-műszaki, mind pedig a helikoptervezető állomány gyári típusátképzésen vesz részt, amelyet az Airbus Helicopters oktatói felügyelete melletti hazai továbbképzés követ. Kialakítják a helikopterek fenntartását biztosító logisztikai rendszert, illetve az alkatrészutánpótlás-bázist.

Az új helikopterek rendszeresítése természetszerűleg egy új, a részben a Mi-2 típusú könnyű helikopterek 2000-ben történő kivonásával elvesztett képesség helyreállítását, illetve új képességelemek kialakítását hozza magával. Felmerült annak lehetősége, hogy a jövőben ez a típus megjelenhet az országos kutató-mentő szolgáltatás biztosításában, kiváltva a közepes kategóriába tartozó Mi-8/17 szállítóhelikoptert. Fontos döntés ez, hiszen a kis súlyú és méretű helikopter sokkal korlátozottabb méretű helyeken is képes a leszállásra, illetve mentési helyzetben lényegesen kisebb (zavaró) forgószárnyszelet gerjeszt. Ezzel együtt azonban a korlátozott hasznos terhelés miatt elveszik a tömeges mentési képesség.

Összességében, a korlátozó tényezőket, illetve a H145M helikopter szerkezeti adottságaira és felszereléseinek képességeire épülő előnyöket összehasonlítva kijelenthető, hogy a légi jármű bevethető kutató-mentő feladatok teljesítésére. Ahhoz azonban, hogy ez megtörténhessen, több képesség-összetevőt kell átformálni. A gépszemélyzet összetétele megváltozik, amely a kutatási és mentési feladatok (át)csoportosítását hozza magával. Ezzel együtt a gépszemélyzettagok képzettségeit felül kell vizsgálni. A helikoptervezetőknek és fedélzeti rendszerkezelőknek új, a kutatást támogató elektrooptikai eszközöket kell megismerniük, az eddigi ejtőernyősök egészségügyi mentési képességeit fokozni kell.

2. A helikopter kutató-mentő képességének definiálása

Mindenekelőtt le kell szögezni azt a tényt, hogy a jövőben már nem egy 5 t-s hasznos terheléssel rendelkező „közepes" szállítóhelikopterrel biztosítják a szolgálatot, hanem egy olyan helikopterrel, amelynek maximális hasznos terhelhetősége legfeljebb 1200 kg [2]. Ez – mint ahogy a későbbiekben látható lesz – döntően befolyásolja a gépszemélyzet összetételét, a mentésbe bevonható eszközök összetételét és ezzel együtt a kutatás-mentési képességet.

Hasznos azt tisztázni, hogy pontosan milyen kategóriájú légi jármű a gyári megnevezése szerinti BK117 D-2m, kereskedelmi megnevezését tekintve pedig H145M típusú helikopter. Az EASA[1] dokumentumrendszerében a függőleges le- és felszállási képességgel rendelkező légi járművek (VTOL)[2] kategorizálására két dokumentum tekinthető relevánsnak: a *CS-27, Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Small Rotorcraft* [3] és a *CS-29 Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Rotorcraft* [4].

A CS-27 1. fejezetének (a) pontja alapján könnyű VTOL légi járműnek azon eszközt kell tekinteni, amelynek maximális súlya nem haladja meg a 3175 kg-ot, illetve legfeljebb 4 fő szállítására képes. Ugyanezen dokumentum meghatározza azt, hogy a legfeljebb 3175 kg-os, illetve maximálisan 9 fő szállítására képes VTOL-eszközt közepes kategóriájú helikopternek kell tekinteni. Ezzel párhuzamosan a CS-29 1. fejezetének (c)–(f) pontjai azt mondják ki, hogy „A" kategóriás nehéz VTOL légi járműnek kell tekinteni 9072 kg-ot meghaladó és 10 főnél többet szállítani képes helikoptereket. „B" kategóriás helikopternek minősül mindazon VTOL légi jármű, amely 9072 kg-nál könnyebb és 9 vagy annál kevesebb személy szállítására képes. Ugyanebbe a kategóriába sorolandó azon VTOL-eszköz, amelynek súlya ugyan meghaladja a 9072 kg-ot, azonban csupán 9 fő vagy annál kevesebb szállítására alkalmas.

Mindezekből következik, hogy a H145M helikoptert az EASA szabályzói szerinti Nehéz „B" kategóriás légi járműnek kell azonosítani. Mindezt mi sem bizonyítja nyilvánvalóbban, hogy a helikopter hivatalos üzemeltetési kézikönyve (FLM)[3] szerint a légi járművet a CS-29 követelményeinek megfelelően tanúsították [2].

Úgy gondolom, fontos volt ezt tisztázni, hiszen a közbeszédben a H145M helikoptert hibásan könnyű helikopterként azonosítják be, felületes összehasonlításban a Mi-8/17 „közepes" szállítóhelikopterrel.

[1] EASA: *European Union Aviation Safety Agency.*
[2] VTOL: *Vertical Take-off and Landing.*
[3] FLM: *Flight Manual.*

Mindezek után érdemes részletekbe menően elemezni a H145M helikopter terhelhetőségét, mivel az lesz, amely leginkább meghatározza a kutató-mentő képességét. A helikopter alapadatait és tömegszámvetését az alábbi, 1. táblázat mutatja be:

1. táblázat
H145M kutató-mentő változatú helikopter alapadatai és tömegszámvetése [saját szerkesztés]

Megnevezés	**Tömeg (kg)**	**Megjegyzés**
Kutató-mentő változatú helikopter súlya	2636,8	A beszerzésre vonatkozó BI/823-13/2018. nyt. számú szerződés Appendix A.3 melléklete alapján meghatározott érték a kutató-mentő helikopter változatra vonatkozóan 2446,7 kg + csörlő 70,8 kg + Trakka kutató fényszóró 38 kg + EOS[4] 56,5 kg + 2 db ülés a tehertérbe 24,8 kg
Feltöltendő olajok	22,2	Főreduktor: 12,25 kg Végreduktor: 0,64 kg Hidraulikaolaj: 2,04 kg Hajtóműolaj: 5,39 kg Forgószárnyagy-olaj: 1,86 kg
Gépszemélyzet	360	4 fő, személyenként 90 kg
Egészségügyi felszerelés	82,7	A szerződésben foglalt egészségügyi anyagok: „Disaster management kit" 32,4 kg (1 db összehajtható hordággyal számolva) + „Medical kit" 28,3 kg Kiegészítő felszerelés: Medevac II hordágy 10 kg + Laerdal (LSU) motoros leszívó 4 kg, Vákuummatrac 8 kg
Személymentő felszerelés	60	Akkumulátoros (kompakt erővágó) Holmatro: 15 kg, alpin felszerelés: 25 kg, Vízfelszíni mentőfelszerelés: 10 kg
Összesen:	**3152 kg**	

Az FLM 2.6.1. pontja alapján a helikopter maximális felszállótömege 3700 kg.

A fenti táblázatból látható, hogy a helikopter hasznos terhelhetősége 3700 kg-os maximális felszállótömegre számítva: 548 kg! Mivel a helikopter üzemanyag-fogyasztása kutató-mentő művelet esetén (maximális repülési sebesség a kárhelyszínig + mentési művelet) 250 kg/h, ezért a tervezhető repülési idő – a biztonsági tartalékkal – legfeljebb 2 h. Ez a szolgálatnak közel 440 km-es repülési hatótávolságot biztosít.

Megjegyzendő, hogy az egészségügyi felszerelés 2 fő fekvő sérült ellátását biztosítja.

3. A kutató-mentő szolgálat gépszemélyzetének összetétele

A téma kapcsán fontos kiemelni, hogy a magyar helikoptervezetők párhuzamosan teljesítik kiképzésüket a német haderő kutató-mentő feladatra kijelölt gépszemélyzeteivel Donauwörthben és Ingolstadtban, oktatóik a volt katonai oktatók, így részletes információkkal rendelkeznek az ottani eljárásrendről. Ezek alapján: A németek a H145M típust harcászati alkalmazás esetén mindig 2 fő helikoptervezetővel repülik. Komplex műveleti feladatok, magas fenyegetettség (így stressz vagy sérülés) mellett, ha az egyik pilóta kiesik, akkor a másik képes folytatni a bevetést.

Ezzel ellentétben a kutató-mentő feladat 1 helikoptervezetővel megoldható (az egypilótás üzemelést az FLM 2.4-es pontja is lehetővé teszi) abban az esetben, ha a helikoptervezető VFR,[5]

[4] EOS: Electro-optical Sensor, Elektrooptikai berendezés.
[5] VFR: *Visual Flight Rules,* Repülés látvarepülési körülmények mellett.

IFR,[6] NVFR,[7] NVD,[8] DVE,[9] EOS, csörlőberendezés használatára, illetve specifikusan kutató-mentő szakfeladatokra képzett. Ezzel együtt a helikoptervezető éves repülési terve legalább 20 h-s önálló repülési időt kell tartalmazzon.

Ahogyan a németeknél, úgy nálunk is a gépszemélyzet elhagyhatatlan tagja az úgynevezett Fedélzeti rendszerkezelő *(Rescue operator).* Az a gépszemélyzettag, aki adott esetben csörlőkezelői munkát végez, NVG-repülés során segíti a helikoptervezetőt a korlátozott méretű leszállóhelyekre történő bejövetelben és leszállásban, a kárhelyszínen tartja a kapcsolatot a mentést koordináló vezetővel vagy szervvel, biztosítja az alpintechnikai mentést. Más esetben „segédmunkát" végez a mentési és ellátási feladatokban (például ő viszi a sérültet a hordágyon a helikopterbe az egészségügyi szakbeosztottal *(Paramedic),* míg az egészségügyi szaktiszt *(Medic)* többek között az általa bekötött infúziót tartja/viszi. A repülések során a helikoptervezetőnek segítséget nyújt a fedélzeti rendszerek légi üzemeltetésében (például EOS, COM, navigációs rendszer) működtetésében. E beosztás maradéktalan ellátásához javasolt a mostani Mi-8/17 szállítóhelikopteren szolgálatot teljesítő fedélzeti szerelő- vagy technikusállományt átképezni. Ezzel együtt javasolt a mostani állománytáblán szereplő fedélzeti szerelői beosztás megnevezést „Fedélzeti rendszerkezelő"-re módosítani. A beosztáshoz tartozó munkaköri leírásba pedig megjeleníteni a helikopter fedélzeti rendszereinek üzemeltetésére vonatkozó feladatokat.

A helikopter terhelhetőségének figyelembevételével a mostani 2 főről a jövőben 1 főre kell csökkenteni a harctéri egészségügyi ellátó végzettséggel is rendelkező kutató-mentő ejtőernyősök számát, és a megmaradó beosztást átnevezni egészségügyi szakbeosztottra, mivel ez a szakszemély ejtőernyős ugrást a jövőben H145M-ből nem kell végezzen. Azzal, hogy 1 fő *Paramedic* lesz a fedélzeten a jelenlegi 2 fő helyett, az alpin képesség átmenetileg ugyan csökken, de a mostani alpint igénylő helyzetekben a *Rescue operator* – az alpin kiképzést követően – képes lesz a biztosítási feladatok megoldására. Emellett, a *Rescue operator* le tudja csörlőzni a *Paramedicet* az adott kárhelyszínre. Ott végrehajtja a technikai mentést és szükség esetén a minimum CLS képzettségének hála az első ellátást. Ehhez a helikopterre rendszeresíteni kell a kis méretű, akkumulátoros Combi Tool GCT 4150 Evo 3 típusú Holmatro berendezést (1. ábra).

1. ábra
Holmatro Combi Tool GCT 4150 EVO 3, feszítő-vágó berendezés [11]

A sérült fedélzetre történő csörlése után a *Paramedic* a földön marad. A sérült szállítása a *Medic* felügyelete mellett helikopterrel, a *Paramedicé* pedig földi járművel történik. Mindezek mellett

6 IFR: *Instrument Flight Rules,* Repülés műszerrepülési körülmények mellett.
7 NVFR: *Night Visual Flight Rules,* Repülés éjjel, látvarepülési körülmények mellett.
8 NVD: *Night Vision Device,* Repülés éjjellátó berendezés használatával.
9 DVE: *Degraded Visual Environment,* Repülés korlátozott látási körülmények mellett.

lényeges azt megérteni, hogy tudatos a *Paramedic* megnevezés használata, amely magában hordozza a *Parachuter* és *Medic* kettős feladatkört. Nem javasolt a mostani ejtőernyős kutató-mentő képesség elvesztése annak ellenére, hogy a H145M-en nem tervezett az ejtőernyős ugrás. Közepes helikopteren (Mi-8/17-en és a jövőben a H225M-en) azonban fontos az ejtőernyős képesség, mivel ő az, aki a földet érése után képes kézi keresővel a sérült felkutatására egy olyan erdős területen, ahova a közepes helikopter a méreteiből adódóan nem tud leszállni, vagy például képes segítséget nyújtani a helikopter leszállásánál az NVG képes TALKIT[10] (2. ábra) telepítésével. Látható, hogy mindenképpen javasolt az ejtőernyős képesítés megtartása a *Paramedicnél.*

2. ábra
TALKIT, harcászati leszálló fénytechnikai berendezés [12]

Összegezve, a megfelelő képzettség mellett mind VMC,[11] mind pedig IMC[12] körülmények között (nappal és éjjel) a 4 fős gépszemélyzet összetétele a következő kell legyen: 1 fő helikoptervezető, 1 fő *Rescue operator,* 1 fő *Medic* és 1 fő *Paramedic.*

A helikoptervezetőnek VFR, IFR, NVFR, NVG, DVE, csörlési művelet, EOS és kutató-mentő képzettnek kell lennie. A *Rescue operatornak* főképp csörlési művelet és EOS képzettnek kell lennie, de képes kell legyen az alpintechnikai és egészségügyi feladatok támogatására is. A *Medicnek* a kompetenciája keretén belül képesnek kell lennie az elsődleges (életmentő és állapotstabilizációs) egészségügyi beavatkozások teljesítésére. A *Paramedicnek* képesnek kell lennie az alpintechnikai és műszaki mentési feladatok teljesítésére, illetve a *Medic* tevékenységének támogatására.

Ahhoz, hogy a *Rescue operator* képzése elindulhasson, az állománytáblán létre kell hozni a „fedélzeti rendszerkezelő"-i beosztást a jelenlegi fedélzeti szerelői beosztás átalakításával. A „fedélzeti rendszerkezelő"-i beosztás létrehozása után, azonnal meg kell kezdeni a *Rescue operator*-állomány csörlőkezelői és EOS kiképzését, a helikopter fedélzeti rendszereinek légi üzemeltetéséhez szükséges felkészítését.

Az egészségügyi képesség fokozására javasolt a *Medic* tekintetében létrehozni egy olyan beosztást, amelyre felvehető lehetne: Orvos (tiszti rendfokozattal), Mentőtiszt (tiszti rendfokozattal), Felcser (altiszti rendfokozattal); a *Paramedic* tekintetében pedig Mentőtiszt (tiszti rendfokozattal), Felcser (altiszti rendfokozattal), Ejtőernyős (altiszti rendfokozattal). Legjobb

[10] TALKIT: *Tactical Airfield Lighting Kit,* Harcászati leszálló fénytechnikai berendezés.
[11] VMC: *Visual Meteorological Condition,* Látvarepülést biztosító meteorológiai körülmény.
[12] IMC: *Instrumental Meteorological Condition,* Műszerrepülést biztosító meteorológiai körülmény.

esetben így 1 fő orvos (mint *Medic,* tiszt) és 1 fő Mentőtiszt (mint *Paramedic,* tiszt) lehetne a fedélzeten. Nyilvánvaló az, hogy abban az esetben, ha a *Medictől* vagy a *Paramedictől* a jövőben orvosi vagy mentőtiszti kompetenciáknak megfelelő egészségügyi beavatkozási képességet (és ezzel együtt végzettséget) követel meg a rendszer, akkor a mostani Kutató-mentő felcseri és Paramedic beosztást tiszti beosztássá szükséges módosíttatni.

Az alpintechnikai mentési képesség jelenlegi képességszintjének fenntartásához a *Rescue operatornak* el kell végeznie az ilyen irányú szaktanfolyamot.

4. A kutató-mentő szolgálat átvétele H145M-mel

A németek 1971 óta a kutató-mentő szolgálatot az analóg műszerfalas UH-1D könnyű helikopterrel adták (adják) [5]. A bejelentést arról, hogy a jövőben e szolgálatot H145M-mel biztosítják, 2018 decemberében tették [6]. A német helikoptervezetők átképzése H145M-re 2019. november 18-án kezdődött az Airbus Helicoptersnél. Emellett a kutató-mentő felszereltségű helikopterek már 2019. december hónapjától megérkeztek a német légierőhöz, amelyeken jelenleg is folyik a helikoptervezetők gyakorlati kiképzése (átképzése UH-1D-ről). A németek azoknak a helikoptervezetőknek, akik majd ilyen szolgálatot adnak, teljes kutató-mentő átképzést rendeltek az Airbustól. Ez magában foglalja a VFR, IFR, NVFR, NVG, EOS, csörlő és külsősúlyos képzést. Tehát a végrehajtó alakulatnál már nem kell foglalkozni a kutató-mentő (át)kiképzéssel, csupán gyakorolni, tapasztalatot gyűjteni, tehát jártasságot kell szerezni.

Annak ellenére, hogy már 2020. első negyedév végéig H145M-re átképzett, több ezer órát repült (úgynevezett „Single-pilot operation"-ban jártas) helikoptervezetőkkel fognak rendelkezni, meglesz a kutató-mentő felszereltségű helikopterük, mégis a szolgálatátvételt 2020 végére tervezik. Addigra lesz meg az a jártasság, tapasztalat a típuson, hogy mindenféle kockázat nélkül azt megtehessék.

Magyarországra kutató-mentő felszereltségű H145M helikopterek 2020. II. negyedév végéig érkeznek.

Ahhoz, hogy a kutató-mentő szolgálat biztosítása hazánkban megkezdődhessen, a helikoptervezetőinknek meg kell szerezniük az annak biztosításához szükséges összes képzettséget (VFR, IFR, NVFR, NVG, DVE, csörlő), és jártasságot kell szerezniük az elsajátított képzettségekben.

Részleteiben: Az első 3 darab kutató-mentő felszereltségű helikopter megérkezéséig 8 fő oktató-helikoptervezető VFR- és IFR-, illetve 12 fő helikoptervezető VFR-átképzését hajtja végre az Airbus Helicopters. A németországi képzést követően kell itthon folytatni e helikoptervezetők továbbképzését a H145M kiképzési kézikönyv alapján. Ez az „A" csoportban kiképzett 2 fős hazai oktatói állomány és a Szolnokra akkreditált 1 fő Airbus oktató bevonásával történhet. 2020. II. félévében történik Németországban további 8 fő helikoptervezető típusátképzése, akikből 4 főnek a kutató-mentő továbbképzését szintén Magyarországon hajtják végre 2021. első negyedév végéig.

Továbbá a fennmaradó 4 fő 2020. szeptember-októberben utazik vissza Németországba továbbképzésre, amely után elkezdhetik a DVE és kutató-mentő képzésüket. Az alakulat 2020. év végére 8 fő K-M szolgálatra teljesen kiképzett helikoptervezetővel fog rendelkezni.

Ahhoz, hogy egy helyszínen rövid távon megkezdődhessen a szolgálat biztosítása, minimálisan 5 kiképzett, jártasságokkal rendelkező gépszemélyzetre van szükség. Egy héten két gépszemélyzet teljesít szolgálatot egymás váltásában. Egy váltásban 4 fő (1 fő helikoptervezető,

1 fő *Rescue operator,* 1 fő *Medic,* 1 fő *Paramedic*), ahogy az 1. héten szolgálatot adó két gépszemélyzet szolgálatban lehet a hónap 3. hetében, úgy a 2. héten szolgálatot adó két gépszemélyzet a hónap 4. hetében is lehet szolgálatban. Ahhoz, hogy a szolgálatot adó személyek bármely okból le(ki)- válthatók legyenek, szükséges további 1 gépszemélyzet tartalékban tartása.

Összegezve, figyelembe véve a jelenlegi létszámot, a gépszemélyzetszintű kiképzés tervezhető ütemét, a képzettségek és jártasságok megszerzéséhez szükséges időt, az Airbus Helicopters által biztosított képzési lehetőségeket, a helikopterekből kirepülhető időket, az egyéb, szintén e típust és állományt érintő feladatokat kijelenthető, hogy a H145M helikopter kutató-mentő szolgálatba egy helyszínen 2020. IV. negyedévében, két helyszínen pedig 2021. I. negyedévében állhat szolgálatba.

A H145M kutató-mentő szolgálatba állításának első helyszíne Szolnok kell legyen, mivel csak ott biztosított a megfelelő logisztikai és repülő-műszaki biztosítási háttér. A megfelelő földi üzemeltetési tapasztalat megszerzéséig, nem javasolt pilóta üzemeltetésben leválasztani a helikoptert az anyabázisáról. Megjegyzem, a német forgószárnyasok soha nem települnek el az anyabázisukról repülő-műszaki szakemberek nélkül.

5. Összegzés

1944. december 7-én a Nemzetközi Polgári Légügyi Szervezet (ICAO)[13] Chicagói alapító tanácskozásán az alapító tagállamok megállapodtak arról, hogy az ott megalkotott egyezmény 12. függeléke alapján minden aláíró nemzet felelős a területe és a felségvizei fölötti légi kutatás-mentésért. Magyarország 1969 óta tagja az ICAO-nak, és a szervezet ajánlásainak megfelelően építette fel kutató-mentő tevékenységét. Ezzel együtt az érvényben lévő ICAO-előírásoknak megfelelően minden egyes nemzetnek rendelkeznie kell saját, e célra kijelölt és kiképzett kutató-mentő erőkkel és eszközökkel.

A hazai kutatás-mentés rendszerét a 267/2011. (XII. 13.) Korm. rendelet [7], a végrehajtás részleteit pedig a Magyar Honvédség 86. Szolnok Helikopter Bázis és a Magyar Honvédség Pápa Bázisrepülőtér parancsnokának együttes intézkedései szabályozzák. Ezek alapján a légi kutató-mentő készenléti szolgálat rendeltetése a Magyarország államhatára által körülhatárolt területen, illetve légtérben, valamint nemzetközi szerződés vagy felkérés alapján a szomszédos országok területén és légterében bajba jutott légi járművek légi kutatása és mentése, a katasztrófák elleni védekezéssel és mentéssel összefüggő, valamint az alaprendeltetésből adódó feladatok végrehajtása. Ez egy olyan feladat, amelynek teljesítése, illetve az arra történő felkészülés felelősségteljes tervezést és végrehajtást követel meg [8].

Napjaink technikai fejlődése, az abból adódó lehetőségek egyrészről nagymértékben növelik a szolgáltatás képességszintjét, másrészről azonban kihívások elé állítja a szakállományt.

A tanulmányban egy olyan rendszert mutattam be, amely a H145M helikopter rendszerbe állításával átalakul. Új képesség-összetevők jelennek meg, a gépszemélyzet a tőlük elvárt képzettségekkel átalakul.

[13] ICAO: *International Civil Aviation Organisation.*

Hivatkozások

[1] Airbus, *Hungary orders 20 H145Ms.* 2018. Online: www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2018/06/hungary-orders-20-h145ms-.html
[2] Flight Manual BK117 D-2m /Helionix Step 2/ Airbus Helicopters Co., 2019, 2–7.
[3] EASA, *CS-27, Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Small Rotorcraft.* European Union Aviation Safety Agency, 2018.
[4] EASA, *CS-29, Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Rotorcraft.* European Union Aviation Safety Agency, 2019.
[5] Wikipedia die freie Enzyklopädie, *SAR-Dienst für Luftfahrzeuge in Deutschland.* Online: https://de.wikipedia.org/wiki/SAR-Dienst_f%C3%BCr_Luftfahrzeuge_in_Deutschland
[6] Airbus, *Bundeswehr orders H145 search and rescue helicopters.* 2018. Online: www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2018/12/Bundeswehr-orders-H145-search-and-rescue-helicopters.html
[7] 267/2011. (XII. 13.) Korm. rendelet a bajba jutott légi járművek megsegítését, valamint a katasztrófák elleni védekezéssel és a mentéssel összefüggő tevékenységet ellátó légi kutató-mentő szolgálat szervezetéről, működésének, fenntartásának, riasztásának és a mentéssel járó költségek viselésének rendjéről, e tevékenységek engedélyezésére vonatkozó szabályokról
[8] Bali T., „A hazai forgószárnyas kutatás-mentés kihívásai," *Repüléstudományi Közlemények,* 30. évf. 3. sz. 111–122. 2018. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2018_3/2018-3-08-0097-Bali_Tamas.pdf
[9] NSO, *AAP-06 NATO Glossary of Terms and Definitions.* NATO Standardization Office, 2015.
[10] NSO, *AAP-15 NATO Glossary of abbreviations used in NATO documents and publications.* NATO Standardization Office, 2015.
[11] Industrial Protection Service. Online: www.ipp-ips.com/combi-tool-gct-4150-evo-3.html
[12] Hoffman Engineering. Online: www.hoffmanengineering.com/instruments-for-air/military-instrumentation-and-lighting/talkit-tactical-airfield-lighting-kit-led-military

The Transformation of the Domestic Airial Research and Rescue by the Deployment H145W chopper

Thanks to the Zrínyi 2026 Defence and Military Development Program, the Hungarian Defence Forces' services has recently received (and will receive) ever newer weaponry. One direction of development concentrates on the rotary-winged capability improvement. As an example, new capabilities have emerged along with the procured H145M helicopters, from which one of the most important is the national level search and rescue one. However, this requires a detailed approach to shaping the ability components. In the present study, I analyse these tasks.

Keywords: *aerial search and rescue, H-145M, Hungarian Defence Forces*

Dr. Bali Tamás ezredes, bázisparancsnok-helyettes MH 86. Szolnok Helikopter Bázis bali.tamas@hm.gov.hu orcid.org/0000-0001-6098-8602	Tamás Bali, PhD Colonel, Deputy Base Commander HDF 86th Szolnok Helicopter Base bali.tamas@hm.gov.hu orcid.org/0000-0001-6098-8602

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
33. évfolyam (2021) 1. szám 69–83. • DOI: 10.32560/rk.2021.1.7

Major Gábor, Tamás Miklós

Az atomerőművek drónokkal szembeni védettsége

Akár az atomerőművek, akár a pilóta nélküli légijármű-rendszerek, a 21. században mindenki által ismert és megosztó fogalmak. Bármilyen kritika megfogalmazható e két technikai, technológiai vívmány mellett és/vagy akár ellene is, de be kell látni azt, hogy csak annak van létjogosultsága, és az fejlődik minden gáncsolási kísérlet ellenére, amire szükség vagy még inkább, amire kereslet van. Az alábbi publikációban a szerzők azt mutatják be, hogy egy speciális területen, mint az atomipar, az atomerőművek fizikai védettsége milyen kapcsolatot mutathat a korunk dinamikusan fejlődő légi eszközével, a pilóta nélküli légi járművekkel. A cikkből az olvasó megismerheti az atomerőművek néhány biztonsági jellemzőjét, a felépítésből adódó sebezhetőségét, valamint a drónokkal szembeni védekezés szükségességét és megoldhatóságát.

Kulcsszavak: *pilóta nélküli légijármű-rendszerek, drón, atomerőmű, UAV elleni védelem, kritikus infrastruktúra*

1. Bevezetés

Amikor a jelenkor hatékony energiatermeléséről beszélünk, nem mehetünk el a nukleáris energiában rejlő lehetőségek mellett. A rengeteg előnye mellett azonban a hátrányok oldalán is találhatunk számos „mérföldkövet" annak veszélyessége miatt [25, 183]. A címben szereplő elnevezések mindegyike, mint az atomerőmű és a drón is jelentős vitát képes generálni, csupán a puszta említésük okán. Egyik „szereplőre" sem mondja az „utca embere", hogy jó vagy netalán rossz, mindkét esetben érzelemdús véleményt képes alkotni. Úgy az atomerőművek, az atom békés felhasználása, mint a pilóta nélküli légi járművek érzelmeket generálnak az emberekben attól függően, hogy milyen élményük vagy milyen ismeret áll rendelkezésükre a témát illetően.

A II. világháború időszakában, 1942-ben Chicagóban építették meg az első, kísérleti atomreaktort, amit Szilárd Leó[1] és Enrico Fermi[2] azzal a céllal hozott létre, hogy igazolja a szabályozott láncreakció megvalósíthatóságát. A munkásságuknak köszönhetően az 1950-es években megkezdődött a maghasadás vagy magfúzió elvén működő, elektromosságot generáló nukleáris erőművek építése, az atomenergia békés céllal történő felhasználása. Az elmúlt évtizedek alatt számos reaktorblokk épült, és kezdte leváltani a fosszilis tüzelésű erőművek jelentős részét, de az előnyeit és hátrányait vizsgálva (lásd 1. ábra) elmondható, hogy van

[1] 1898. 02. 11. – 1964. 05. 30. magyar származású fizikus.
[2] 1901. 09. 29. – 1954. 11. 28. olasz származású fizikus, 1938-ban fizikai Nobel-díjat kapott az indukált radioaktivitással kapcsolatos munkásságáért.

bőven olyan terület, ahol a mérnökök, tervezők, biztonsági szakemberek még nem jutottak el a tökéletességig.

1. ábra
Atomerőművek dilemmái [Major Gábor szerkesztése]

A cím szerinti másik „összetevő", a pilóta nélküli légi járművek, az elmúlt évtizedek technológiai fellendülésének köszönhetően hatalmas fejlődésen mentek és mennek napjainkban is keresztül, amely töretlen, sőt viharos. A mérnöki találékonyságnak köszönhetően kialakultak a merev, a forgó-, sőt a csapkodószárnyú kis, illetve a hang sebességét is meghaladó sebességgel repülő, néhány grammos és több tonnás felszállótömeggel a levegőbe emelkedő, bázisuktól alig százméternyire eltávolodni képes, valamint akár a kontinensek közötti távolságok átszelésére is alkalmas konstrukciók. Ezek a légi eszközök az ember fedélzeti jelenléte nélkül, autonóm

módon képesek repülni [3]. A működésükhöz szükséges információkat a környezetükből gyűjtik, szenzorok segítségével érzékelik pozíciójukat, és egy döntési folyamat eredményeként működésüket, helyzetüket, mozgásukat a háromdimenziós térben korrigálják [40]. Ugyanakkor repülhetnek az ember által végzett távirányítással, esetleg e kettőt kombinálva is, ami jelentős kockázatot hordoz magában az irányítást végző személy elrejtőzésének, elfedésének, így a kritikus infrastruktúra védelmi nehézségeinek lehetőségét vizsgálva [22, 199–200].

Egy új technológia megjelenése az élet számos területén érzékelteti hatását, a katonai használattól a civil területeken át egészen az ártó szándékú felhasználókig, főképp akkor, ha ez a technikai újdonság rendkívül rugalmasan felhasználható, és a tudomány fejlődésével egyre olcsóbban, gazdaságosabban üzemeltethető.

Crutsinger és társai által publikált [8] írás alapján az FAA[3] 2016-os jelentése szerint az Amerikai Egyesült Államokban regisztrált UAV-k száma meghaladta a regisztrált hagyományos légi járművek számát a jelentés évének februárjában. A piacon a legnagyobb kínálata az úgynevezett „mikrodrónoknak" van, amelyek tömege nem haladja meg a 2 kg-ot. Ezek közül is általában a kamerával ellátott, 10–30 min közötti üzemidővel rendelkező drónokra van a legnagyobb kereslet, amelyek olcsóbb változatai már 300 dollár körül elérhetők. Ennek a robbanásszerű elterjedésnek köszönhetően nem csupán a „hobbisták" és a szakmájukból adódó felhasználók építik be kellékrepertoárjukba ezeket a légi eszközöket, hanem az olyan, ártó szándékkal és gondolkodással „felvértezett" egyének és szervezetek is, akik és amelyek célja továbbra is az elrettentés, de már a 21. század modern eszközeivel. Ez a dróntechnológia, amelynek fejlődése és megállíthatatlan elterjedése pedig új utakat biztosít a terrorizmus számára is [1], [2].

Ha már két ilyen „csúcstechnológia" a publikáció tárgya, akkor nézzük, hogy gyakorolnak-e hatást egymásra, amennyiben igen, akkor hogyan és milyen következményekkel.

Nem kell hosszas és mélyreható kutatást végezni ahhoz, hogy találjunk drónokkal elkövetett incidenseket, amelyek atomerőművek ellen megkísérelt terrorcselekmények kategóriájába sorolhatók. 2014-ben körülbelül 30 olyan esetet regisztráltak Franciaországban, amikor is engedély nélkül repültek drónok nukleáris létesítmények fölé [33].

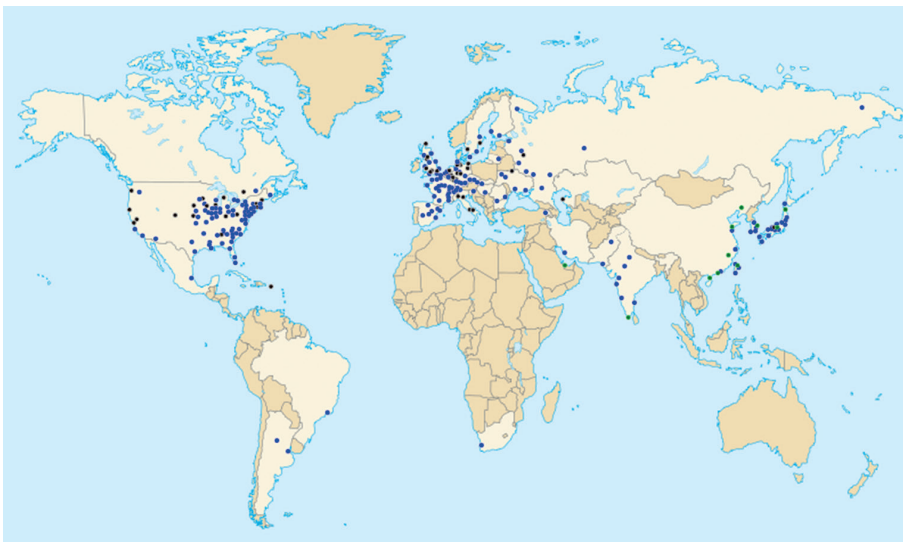
Amennyiben a UAS-eszközök *(Unmanned Aircraft System)* fejlődése eljut arra a szintre, hogy ne csak „ijesztgetésnek" tűnjenek a berepülések, hanem kártékony is legyen a művelet, akkor a következő statisztikával egy kicsit megvilágítva a lehetőségek egyre bővülő tárházát, nem is olyan rózsás a helyzet ezen a fronton a „békepártiak" szemszögéből.

1982-ben Franciaországban 4 db rakétát lőttek ki az egyik malville-i reaktorra. Ugyanebben az évben a Dél-Afrikai Köztársaság koebergi erőművénél történt robbantás. Ezek mellett az USA-ban is történt számos hasonló eset, amelyek a különböző mértékű károkozástól a robbantásig terjedtek [19, 35–36]. John Large, brit mérnök 2015-ben közölte, hogy a nukleáris balesetekre vonatkozó kockázatfelmérésekhez képest kevés a nukleáris terrorizmus lehetőségeire vonatkozó felmérés az atomerőművek biztonságát tekintve. Szerinte Nagy-Britanniában egy ilyen támadás több tízezer áldozatot is követelhet [4, 1–3], [42], rávilágítva arra a pusztításra, amelyet a destabilizált atomreaktorok által szabaddá engedett radioaktív anyagok okozhatnak.

[3] *Federal Aviation Administration* – Szövetségi Légügyi Hivatal (USA).

2. A világ atomerőművei

A világon nagyságrendileg 440 db atomreaktor üzemel (a 2. ábrán látható eloszlásban), ezek együttesen a világ energiaellátásának nagyjából 10%-át fedik le. Vannak országok, ahol arányában nagyobb az atomreaktorok által megtermelt energia mennyisége az egyéb hagyományos vagy megújuló energiaforrásokhoz képest [32]. Magyarországon például közel 50%-át [7], míg Franciaországban – ahol jelenleg 58 reaktort üzemeltetnek – nagyjából 75%-os ez az arány (ezt azonban 2035-ig 50%-ra tervezik csökkenteni) [30]. Ezek az adatok azt mutatják, hogy a megújuló energiaforrások elterjedése ellenére még mindig prominens szerepet tölt be a nukleáris energia több országban, megbízhatósága, tisztasága, valamint viszonylagos biztonsága miatt.



2. ábra
Az atomerőművek eloszlása a világban [27]

Ahhoz, hogy egy esetleges terrortámadás kockázatait vizsgáljuk, bele kell látnunk az atomreaktorok alapvető működési folyamataiba, jellemzőibe, valamint nem utolsósorban az egyes részeinek anyagi felépítésébe. Ezek ismeretében sokkal nagyobb biztonsággal vagyunk képesek az egyes veszélyekre rámutatni.

A működésüket tekintve az atomreaktorok olyan szerkezetek, amelyekben a nukleáris láncreakció kontrollált módon tartható fenn. A láncreakció során neutronok ütköznek a hasadóanyag atomjaival, amelynek hatására szétbomlanak az atommagok, több neutront szabaddá bocsátva. Ez energiafelszabadítással járó folyamat (például az urán-235 atom hasadása során például 198 MeV energia szabadul fel [28]). Természetesen ezek a reaktorok komplex szerkezetek, amelyeket csoportosíthatunk több szempont alapján, úgymint működési elvüket tekintve, vagy akár a moderátorközeg ismerete szerint. A termikus atomreaktorokban az említett moderátorközeg a neutronok lassítására szolgál, amely lehet például víz, nehézvíz (deutérium-dioxid), illetve régebbi atomreaktorok esetében grafit (például RBMK-1000) [10, 5].

2.1. Atomerőművek biztonsági jellemzői

Mint ahogy az előzőekben leírtuk, az atomerőművek komplex szerkezetek, amelyek erősen radioaktív anyagok jelenlétében működnek. Ezért szigorú biztonsági rendszabályoknak kell megfelelniük, hogy ne ismétlődjön meg a csernobilihoz vagy a fukusimaihoz hasonló eset, habár utóbbi kettő üzembiztonsági kérdéseket felvető baleset volt, itt pedig jellemzően a szabotázs vagy a támadás lehetőségeit vizsgáljuk. A nukleáris biztonság az erőmű területén történő tiltott cselekmények véghez vitelére, különösképpen radioaktív anyagok szabotálására, eltulajdonítására, illegális felhasználására törekvő megelőzést foglalja magában. Az e cselekmények elleni védekezésben nagyon fontos a létesítmény fizikai védelme, amely a szimpla elkerítés mellett magában foglalja a létesítményekben található biztonsági berendezéseket (kamerák, riasztók stb.), a biztonsági személyzetet, valamint a létesítmény elhelyezkedését és kialakítását. Ezen intézkedések foganatosítását a Nemzetközi Atomenergia-ügynökség is ellenőrzi [38], [37].

Az energiahordozók biztonságosságát általában (például a fosszilis tüzelőanyagok esetében) 5 változóval adják meg:

- az energia megoszlása (az elsődleges energiahordozókhoz képest);
- intenzitása (adott energia mennyisége GDP-re leosztva);
- felhasználása (/fő);
- az alapanyag diverzifikációja;[4]
- függetlenség.

Az atomenergiához hozzájön még számos faktor, amely a nukleáris fűtőelemek szállításából és előállításából, valamint az adott ország lakosainak atomenergiához való hozzáállásából adódik. A hasadóanyag életciklusában minden feldolgozási folyamat nagyon nagy szerepet játszik változóként, legfőképpen a dúsítás folyamata, amelynek pontos lefolyása titkos, a hasadóanyagok illegális proliferációjának[5] megakadályozása érdekében [39].

2.2. Atomerőművek terrorizmus által fenyegetett övezetekben

Ha atomerőművek elleni esetleges támadásokról beszélünk, érdemes pillantást vetni azokra a reaktorokkal rendelkező országokra, amelyek fokozottan veszélyeztetettek támadás szempontjából. Ebben a fejezetben példaként foglalkozzunk Pakisztánnal, ugyanis ez az egyik ország, amely leginkább terrorizmus által fenyegetett, atomerőművekkel rendelkező ország.

Pakisztánban jelenleg 2 db atomerőmű üzemel, az egyik a Karacsiban üzemelő Kanupp-1, amelyet terveznek leváltani két kínai nyomottvizes reaktorral (Kanupp 2-3), amelyek összteljesítménye 2200 MW lesz. A másik erőmű a Pandzsáb tartományban üzemelő Csaszma 1-4, amely összteljesítménye 1230 MW [31]. Pakisztán az egyik melegágya a szélsőséges fundamentalista, illetve terrorszervezeteknek, annak ellenére, hogy a terrorizmus mértéke csökkenő tendenciát mutat az elmúlt 5 évre visszatekintve. Dél-Ázsia legnagyobb terrorizmussal foglalkozó portálján összesen 48 ilyen jellegű szervezetet különböztetnek meg [41].

[4] A kockázat csökkentésére irányuló magatartás.
[5] Szaporodás, gyarapodás, terjedés, térhódítás, növekedés.

Ezenfelül a Kanupp jelenleg üzemelő reaktora 1971-ben kezdte meg üzemelését, és eredetileg az üzemeltetése 30 évre volt tervezve, amelyet különböző apró módosításokkal sikerült meghosszabbítaniuk [20]. Ennek ellenére egy régi reaktorról beszélünk, amely magában rejt számos kockázatot.

3. Atomerőművek egyes részeinek sebezhetősége

Az atomerőművek alapvetően két részből tevődnek össze, egy primer és egy szekunder körből. A primer körben történik meg a láncreakció, amely az atomok hasadása során energiát termel. A primer körben található meg a moderátorközeg, amely a termikus neutronok megfelelő sebességre történő lassításáért felel, ez a termikus reaktorok működésében játszik meghatározó szerepet. Egyes reaktorokban ez a közeg biztosítja részint a sugárvédelmet is. Mivel a termikus reaktorokban jelentős szerepe van a hőhatásnak, ebben az esetben a közeg megfelelő hűtése és lezárása fontos feladat. Ezt az úgynevezett konténment[6] biztosítja. Ez a réteg hermetikusan zárja el a külvilágtól az atomreaktor rendszerelemeit. Megakadályozza az üzemzavar kialakulását, illetve a radioaktív anyag környezetbe való jutását. A szekunder körben történik meg a hőátadás folyamata, és a generátorok által a villamos energia termelése [16].

3.1. Primer kör védelme

A fővízkör körül egy nagyjából 1 m vastagságú, dómtetejű betonburok található az atomerőművek többségében. Ez az acéllemezzel bélelt betonburok teljesen magában foglalja a nagynyomású körhöz tartozó szabályozó szelepeket és szivattyúkat, amelyek segítségével pumpálják a magas hőmérsékletű vizet a szekunder körbe. Ez véd mind a külső, mind pedig a belső hatásoktól. Rendkívül fontos szerepet tölt be, ugyanis ez az utolsó védvonal az aktív zóna olvadása esetén. A betonburok belső részének hűtését is meg kell azonban oldani, hiszen ez nem termikus, hanem mechanikai védelmet biztosít. Így a belső falat tisztító- és hűtőberendezésekkel (például aktívszenes jégágy) látták el, hogy egy esetleges primer köri csőtörés se jelentsen végzetes kimenetelt. Természetesen alapesetben az aktív zónából sem olvadék, sem pedig más anyag nem kerülhet ki, így a reaktortartályon kívül nem lehet fertőző anyag, viszont ez egy jó védelmet nyújt, ha meghibásodás vagy egyéb hiba miatt mégis kikerülne belőle sugárzóanyag zónaolvadás során [23]. A konténmentnek számos fajtája van kialakítását tekintve. Esetenként két réteget alkalmaznak légréssel a rétegek között; a külső hatások elleni védelemre, másik a radioaktív sugárzás elleni védelemre (nehézbeton) alkalmasabb (shield building) [21, 5–6]. A vasbeton konténmentről így általánosan elmondható, hogy rendkívüli nagy nyomást és hőmérsékletet is kibír, hiszen egy nyomásálló, hermetikusan kialakított betonburokról beszélünk. A konténmentnek különböző elrendezései lehetnek az atomreaktor rendszerétől függően, valamint sok esetben több rétegű falazattal készítik.

[6] Az atomreaktort és annak közvetlenül kapcsolódó részeit, rendszerelemeit magába záró nyomásálló, hermetikusan kialakított építmény, amelynek az a funkciója, hogy normál üzem, várható üzemi események és tervezési üzemzavarok esetén megakadályozza vagy korlátozza a radioaktív anyagok környezetbe jutását. Különböző tervezési koncepciójú konténmentek léteznek. Vannak vasbeton, feszített vasbeton, acél, egy- és kettősfalú, teljes vagy csökkentett nyomású konténmentek. Például a paksi atomerőmű konténmentje vasbeton dobozszerkezet.

Ennek a kialakításnak és anyagfelhasználásnak köszönhetően nem feltétlenül tud végzetes károkat okozni benne az a mennyiségű robbanószer, amelyet egy kisebb fajta drónra lehet felhelyezni. Fontos tény azonban, hogy a vasbeton szerkezete 450 °C-on elkezd gyengülni az anyagban fellelhető nem karbonátosodott portlandit bomlása következtében [24, 113]. Egy átlagos, kereskedelmi forgalomban könnyedén beszerezhető drón nagyjából maximum 2 kg hasznos terhet tud szállítani magával, azonban az erre a célra kifejlesztett szállító drónok több tíz kg-nyi tömeget is képesek cipelni [18]. A Griff 300 típusú drón közel 230 kg-ot képes szállítani [15]. Ha 230 kg TNT[7] robbanószer összesített robbanáshője – a TNT egyenérték alapján, amely kg-onként 4,184 GJ-ban határozza meg a TNT robbanáskor felszabaduló energiáját – nagyjából 960 GJ. Amennyiben erre a drónra függesztenénk közel ennyi robbanószert, az beláthatatlan mértékű pusztítást tudna okozni. A robbanás által keltett túlnyomást az arányosított távolság (Z) alapján tudjuk kiszámítani, amelyet a robbanástól mért effektív távolság (R) és a TNT egyenértékre átszámított robbanóanyag-tömeg (W) köbgyökének a hányadosa határozza meg:

$$Z = R / (W)^{1/3} \quad (1)$$

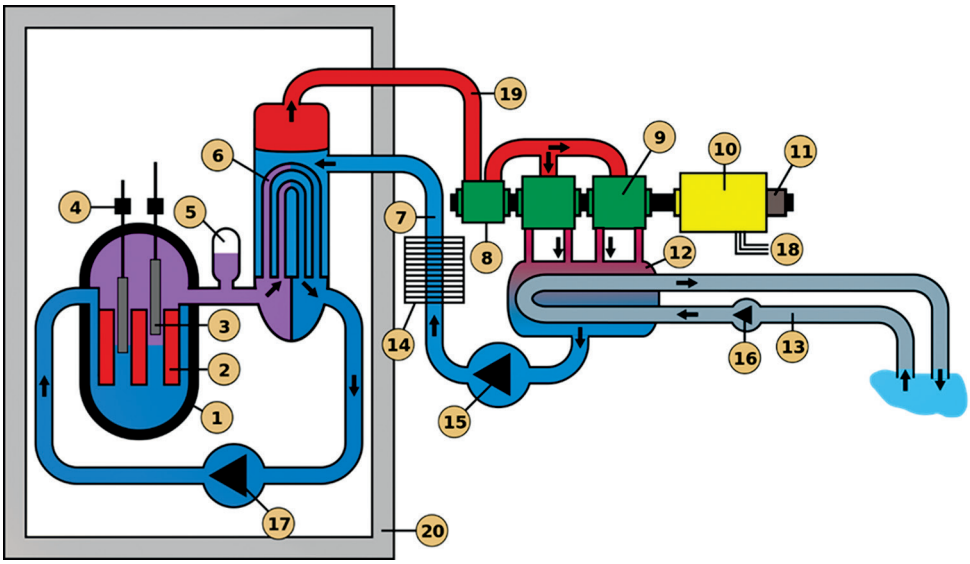
Ha az effektív távolságot 1 m-nek tekintjük, a tömeget pedig 230 kg-nak, akkor $Z = 0{,}163\ m/(kg)^{1/3}$. A Mills-féle módszerrel kiszámítható az oldalirányú túlnyomás:

$$P_{SO} = (1772 / Z^3) - (114 / Z^2) + (108 / Z) \quad (2)$$

Az oldalirányú túlnyomás így 405,5 MPa. Ez természetesen a robbanás által keletkező nyomásnak csak a főkomponense, ugyanis beszélünk visszaverődő nyomásról, dinamikus nyomásról stb. Következésképp a számítás jól szemlélteti azt, milyen iszonyatos ereje van egy ilyen célzott, hatóanyaggal bőven rendelkező robbanásnak [11, 11]. Szemléltetésként vessük össze ezt a nyomásértéket egy átlagos német atomerőmű konténmentjének anyagi jellemzőjével – azért ez szerepel a példában, mert itt legtöbb esetben C30/37 típusú betont alkalmaznak. Ennek a betonnak valamennyi szilárdságtani jellemzője legalább egy nagyságrenddel kisebb, mint a kapott nyomásérték [26, 31–32]. Persze ez a szituáció feltételezi, hogy az általunk választott drón sikeresen eljutott a fővízkör konténmentzónájához, amelyre az atomerőmű magas fokú biztonsága (CCTV kamerák, robbanóanyag-detektorok, mozgásérzékelő rendszerek, hidraulikus kapurendszer) miatt igen kicsi a valószínűség, minden biztonsági előírás maximális betartása mellett [19, 36].

PWR[8]-ek esetében hengeralakú és dómtetejű a konténment (a 3. ábrán 20.), amelynek belsejében légtér hűtésére szolgáló berendezések találhatók, amelyek hideg víz vagy vízzel kevert nátrium-hidroxid porlasztására alkalmasak (utóbbit sugármentesítés esetén alkalmazzák). Működik továbbá 3 db vészhűtő rendszer (nagy-, közepes [akkumulátor]-, és kisnyomású). Ezeknek a sérülése esetén a hűtés és a radioaktív izotópok eltávolításának folyamata veszélybe kerülhet, zónaolvadás következhet be, ha kellően nagy a robbanás.

[7] *Trinitrotoluol,* ipari és katonai, igen alacsony ütésérzékenységű, közepes hatóerejű kémiai robbanóanyag.
[8] *Pressurized Water Reactor:* nyomottvizes reaktor (oroszul вода-водяной энергетический реактор, ВВЭР).

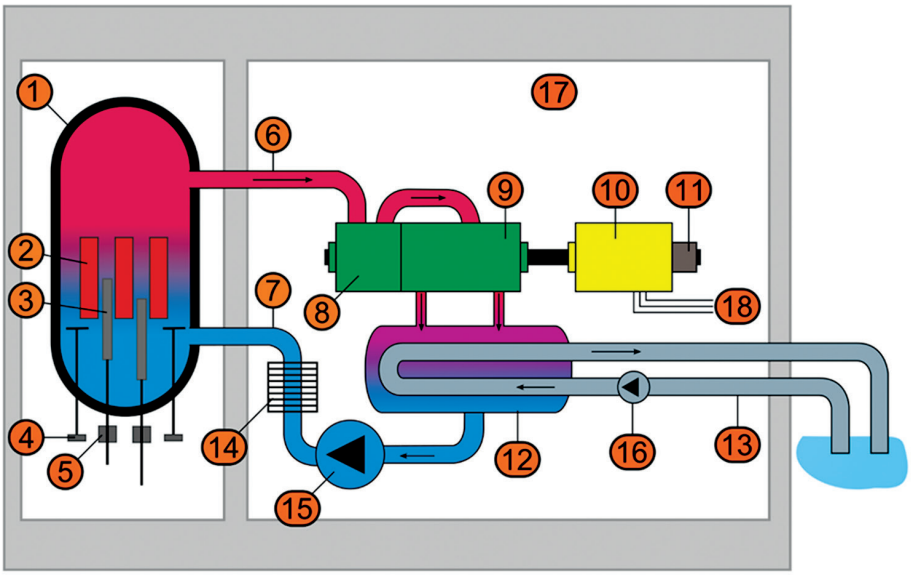


3. ábra
Atomerőmű nyomottvizes reaktorral [29]

1. Reaktortartály 2. Fűtőelem 3. Szabályzórúd 4. Szabályozórúd-hajtás 5. Nyomástartó 6. Gőzfejlesztő 7. Tápvíz 8. Nagynyomású gőzturbina 9. Kisnyomású gőzturbina 10. Generátor 11. Gerjesztőgép 12. Kondenzátor 13. Hűtővíz 14. Tápvíz-előmelegítő 15. Tápvízszivattyú 16. Hűtővízszivattyú 17. Keringető szivattyú 18. Villamos távvezetékhez 19. Friss gőz 20. Beton sugárvédelem, konténment

Zónaolvadás volt az okozója több, nagyobb méretű atomkatasztrófának a világban (például Windscale, Csernobil, Fukusima) [35]. A világ reaktorainak többsége PWR-rendszerű [14]. A Pakson működő VVER-440-esek, továbbá a Paks 2 keretében felépülő VVER-1200-asok is ilyen típusú reaktorok [6]. A BWR[9]-ek konténmentjét (a 4. ábrán a 17.) kettéosztották, így egy száraz (a 4. ábrán a 17. baloldali betonkamrája) és egy nedves (a 4. ábrán a 17. jobb oldali betonkamrája) tartályból áll. Utóbbi rész szolgál a nyomás kiegyenlítésére, amely félig vízzel van megtöltve, és a kiáramló forró gőzt nyeli el. Ennek következtében természetesen a víz felmelegszik, amelyet elvezetnek a hőcserélőbe (a 4. ábrán a 12.). Az aktív zónában keletkezett gőzt közvetlenül a turbinákra vezetik (a 4. ábrán a 9.). Mivel a reaktor hűtővizében mindig találhatók radioaktív atommagok, a turbinákat (a 4. ábrán a 15.) szigetelni kell a külvilágtól. Ez megnöveli a karbantartási költségeket a nyomottvizes reaktorhoz képest, viszont a nagyobb hatásfok és az egyszerűbb szerkezet ellensúlyozza ezt. Fölötte helyezkedik el a száraztartály, amely az újabb kialakítású BWR-eknél egy acélból kialakított dómtetejű henger, amely magát a reaktortartályt (a 4. ábrán az 1.) és a keringető szivattyúkat tartalmazza. Baleset esetén a szellőzőket lezárják, és vákuumot hoznak létre. Belül található továbbá egy nagynyomású hűtőközeg-injektáló rendszer, amely a nagynyomású rendszer meghibásodása esetén lép működésbe [35].

[9] *Boiling Water Reactor:* forralóvizes reaktor.



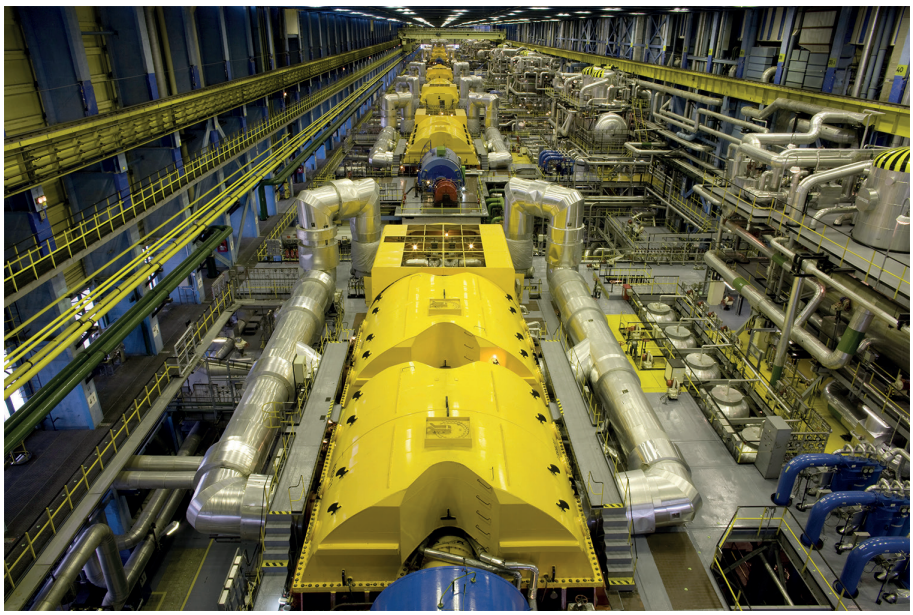
4. ábra
Atomerőmű forralóvizes reaktorral [36]

1. Reaktortartály 2. Fűtőelem 3. Szabályozórúd 4. Keringetőszivattyú 5. Szabályozórúd-hajtás 6. Friss gőz 7. Tápvíz 8. Gőzturbina nagynyomású ház 9. Gőzturbina kisnyomású ház 10. Generátor 11. Gerjesztőgép 12. Kondenzátor 13. Hűtővíz 14. Tápvíz-előmelegítő 15. Tápvízszivattyú 16. Hűtővízszivattyú 17. Betonsugár-védelem 18. Villamos távvezetékhez

3.2. Szekunder kör védelme

A szekunder körben történik meg a reaktormagban fejlesztett hő átadása a tápvíznek a gőzfejlesztőkön keresztül (a 3. ábrán a 6.), valamint annak cseppfolyósítása is a kondenzátorokban (a 3. ábrán a 12., és a 4. ábrán a 12.). Itt találhatók a villamos energia fejlesztésére használt generátorok. Ezt szokás nevezni kisnyomású körnek is. A tápvíz gőzzé alakul, és meghajtja a turbinalapátokat, ezzel a hőt átalakítva mechanikai munkává. Ez a mechanikai munka átalakul villamos energiává a generátoroknak (a 3. ábrán a 10., és a 4. ábrán a 10.) köszönhetően. A turbinán való áthaladáskor fontos, hogy ne legyenek a gőzben folyékony halmazállapotú, apró vízcseppek, ugyanis ez károsítja a turbinalapátokat. Ezért egy kétfázisú szárítási folyamaton vezetik keresztül a gőzt a turbina elérése előtt (a 3. ábrán a 19., és a 4. ábrán a 6.). A kisnyomású vízkörben található számos szivattyú is, amely fenntartja a keringést (a 3. ábrán a 15, és a 4. ábrán a 15). Ezek is potenciálisan gyenge pontok lehetnek egy támadás esetén. Azonban a BWR-ek rendelkeznek szekunder köri konténmenttel (a 4. ábrán a 17. jobboldali betonburok) is, amely további védelmet biztosít [35]. Ezekben a csövekben – dacára annak, hogy kisnyomású körnek nevezik – így is nagy a nyomás, hiszen ezeket a vízkeringető berendezéseket 10 000 LE-s motorok hajtják, hiszen a víz lehűtése érdekében, ekkora víztömeget ilyen gyorsan megmozgatni teljesítményigényes feladat. Így egy ilyen szivattyún keresztül

nagyjából 370 000 l víz folyik percenként. A szekunder kör is el van zárva a külvilágtól alapvetően a turbinacsarnokban, ahogyan azt az 5. ábrán láthatjuk, valamint erős, nyomásálló acélszerkezetekből állnak a különböző csövek és berendezések [34].



5. ábra
Az egyik szekunder vízkör a Paksi Atomerőműben [16]

4. Védekezés a dróntámadások ellen

A dróntechnológia terén elért jelentős fejlődés eredményének köszönhetően, e speciális repülőeszközök megjelenése, elterjedése jelentősen átalakítja a hadviselés, a bűnüldözés és az ellenük történő védekezés szabályait. Igaz, ezzel párhuzamosan a bűnüldöző szervek, a nemzetbiztonsági ügynökségek, de a terrorizmusra fogékony csoportok eszköztárában is megjelennek, így lényegesen szélesebb körben kell értelmezni és fellépni a kritikus infrastruktúrák, ezzel együtt az emberi élet megóvásáért folytatott küzdelemben [12]. A létesítménybe illetéktelenül belépő drónok megállítására és semlegesítésére létezik számos megoldás. Egy ilyen példa olvasható a telephelyek védelmének lehetőségeiről Gajdács László és Major Gábor *Az UAV alkalmazásának kockázatai a biztonságtechnika területén* című publikációjában is [13, 107]. Mivel ezek kicsi és fürge eszközök, a biztonsági ajtók lezárása nem feltétlenül nyújt megoldást, főként versenydrónok ellen, amelyek végsebessége átlagosan nagyjából 80 és 100 km/h közé tehető. De a szimpla, kereskedelmi drónok közül is akad néhány, amely képes 50 km/h-val repülni. Értelemszerűen a létesítmény légterébe történő illegális behatolás esetén a drón azonnali semlegesítése lenne a leghatékonyabb megoldás. Azonban az atomerőművek biztonsági szolgálatának jelenleg nem tartozik a jogkörébe a légtérben közlekedő drónok „leszedése". Ennélfogva – véleményünk szerint – a biztonsági szolgálat jogkörének kiterjesztésére szükség van, hogy egy ilyen jellegű

támadást képes legyen kivédeni, valamint a lehető legmagasabb szintű biztonságot fenn tudja tartani az atomerőművek esetében [9], [17].

Az Airbus által kifejlesztett UAV Elhárító Rendszer egy nagy hatótávolságú zavaró rendszer, amely számos korszerű radart, infravörös kamerát és irányítórendszert tartalmaz. Ezen eszközök segítségével az Airbus rendszere képes felismerni a drónt, illetve értékelni annak potenciális veszélyét az objektumra akár 10 km-ről is. Ezután pedig képes zavaró jelet bocsátani az UAV-ra, amelynek következtében megszűnik a kapcsolat a drón és az azt irányító operátor között, illetve biztonságos keretek között az irányítást is át tudja venni az őrzéssel megbízott szolgálat operátora, hogy semleges helyre reptesse az eszközt. Ez talán az egyik legkorszerűbb ilyen jellegű eszköz, amelyet kifejezetten magas biztonsági kockázati besorolású területek védelmére fejlesztett ki az Airbus [5].

5. Konklúzió

Az írás terjedelmi korlátai miatt nem tért ki a drónfenyegetettség minden aspektusára, csak arra, amely ténylegesen a reaktort és annak közvetlen környezetét fenyegeti. Értelemszerűen vannak más, egyéb eszközök egy atomerőműben, amelyek meghibásodása katasztrófához és ezáltal jelentős sugárszennyezéshez vezethet, de általánosságban elmondható, hogy az atomreaktor szabályozási láncának minden elemét képesek redundáns elemekkel pótolni a rossz végkimenetel elkerülése érdekében.

Ilyen, jelenleg nem vizsgált terület a humán faktor, amelynek elemzése és értékelése sem része ennek a közleménynek, pedig véleményünk szerint ez a leggyengébb láncszem a rendszer működésében. Az ember, természetéből adódóan hajlamos hibázni, még a legnagyobb odafigyelés és elővigyázatosság mellett is. Mindemellett sajnos számításba kell venni és foglalkozni illik azzal az eshetőséggel is, hogy mindenkinek van olyan álma, amit önmaga erejéből nem képes elérni, ám egy „jóakaró" segíthet hozzájutni, aminek következtében rés keletkezhet a rendszer biztonsági pajzsán. Ebből a megközelítésből pedig az ember szerepét és helyét is érdemes megfigyelni, tanulmányozni, értékelni és korlátozni biztonságtechnikai szempontból.

Továbbá, ami a világ veszélyeztetettebb területeit illeti, komoly változások, változtatások szükségesek a fentebb leírt szempontokat tekintve. Mivel ezekben a régiókban az 1960-as években épített reaktortípus működik még a mai napig is (Kanupp-1), ezért ezeken a területeken lenne a legnagyobb szükség a mindenek felett álló biztonság maximális megkövetelésére és betartására, valamint a korszerűsítésre. Szerencsére Pakisztánban már elkezdődött az építése két új reaktornak, amelyek leváltják a régi CANDU-t, és remélhetőleg az új kínai reaktorok a korszerű biztonsági előírásoknak megfelelően fognak működni [20].

És végezetül essék szó a 21. század rohamosan fejlődő „technikai organizmusáról", a pilóta nélküli légijármű-rendszerekről, amelyek rossz-szándékú felhasználói ellen, ha tetszik, ha nem, akkor is védekezni kell, hatékony és biztonságos védelmi rendszer kialakításával és magas szintű üzemeltetési kultúrával. A leghatékonyabb elhárító rendszer a kritikus infrastruktúra körül kialakított több körös védelmi zóna lehet, ahol megfelelő távolságban megoldható akár a robbanóanyaggal „megpakolt" drón megsemmisítése is a reaktorblokktól kellően biztonságos távolságra. Igaz, ennek a megoldásnak a bevezetéséhez, meghonosításához, szakszerű és hatékony működtetéséhez számos akadályt kell még legyőzni, kezdve a technikai feltételektől a jogi háttérig bezárólag, amely kettő között még számos fejlesztendő elem található.

A jelen publikációban tárgyaltak után csupán az a kérdés maradt, hogy a fejlesztők, a mérnökök vagy a jog gyakorlatában jártas szakemberek nőnek fel hamarabb a feladathoz, és sikerül élhető, használható és megnyugtatóan hatékony rendszert kialakítani a cél elérése érdekében?

Ez a cél pedig mindannyiunk számára a valós biztonság egy adott kritikus infrastruktúra környezetében.

Hivatkozások

[1] B. Békési, P. Koronváry, "Are Drones a Boon or Bane?" *Scientific Research and Education in the Air Force,* no. 1, 55–64, 2017. Online: https://doi.org/10.19062/2247-3173.2017.19.1.5

[2] Békési B., Szegedi P., „Pilóta nélküli légijárművek – biztonság vagy fenyegetés," in *XV. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia. Előadások.* Füzesi I., Kovács E., Puskás, J. szerk. Szombathely, Nyugat-magyarországi Egyetem, 2016. 130–141.

[3] Békési B., „Pilóta nélküli légijárművek jellemzése, osztályozásuk," in *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek.* Palik M. szerk. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013. 65–109.

[4] R. J. Bunker, *Terrorist and Insurgent Unmanned Aerial Vehicles: Use, Potentials and Military Implications.* Carlisle, PA, U.S. Army War College Press, 2015.

[5] Airbus, *Counter-UAV System from Airbus Defence and Space protects large installations and events from illicit intrusion.* 2015. Online: www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2015/09/counter-uav-system-from-airbus-defence-and-space-protects-large-installations-and-events-from-illicit-intrusion.html

[6] IAEA, *Country Nuclear Power Profiles – Hungary.* Online: https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Hungary/Hungary.htm

[7] NEA, *Country profile: Hungary.* Nuclear Energy Agency. Online: www.oecd-nea.org/general/profiles/hungary.html

[8] G. M. Crutsinger, J. Short, R. Sollenberger, "The future of UAVs in ecology: an insider perspective from the Silicon Valley drone industry," *Journal of Unmanned Vehicle Systems,* vol 4, no. 3, 2016. Online: https://doi.org/10.1139/juvs-2016-0008

[9] U.S.NRC, *Drones and Nuclear Power Plant Security.* United States Nuclear Regulatory Commission, 2020. Online: www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/fs-drone-pwr-plant-security.html

[10] J. J. Duderstadt, L. J. Hamilton, *Nuclear Reactor Analysis.* New York, John Wiley & Sons, 1976.

[11] Fischer A. R., *Épületek külső robbanásteherre történő méretezése az Eurocode alapján.* Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki kar, Tudományos Diákköri Konferencia, 2012.

[12] Gajdács L., Gervai B., Major G., „A pilóta nélküli légijármű-rendszerek és a honvédelem tegnap, ma és holnap," *Repüléstudományi Közlemények,* 32. évf. 1. sz. 87–100. 2020. Online: https://doi.org/10.32560/rk.2020.1.6

[13] Gajdács L., Major G., „Az UAV alkalmazásának kockázatai a biztonságtechnika területén," *Repüléstudományi Közlemények,* 30. évf. 2. sz. 101–112. 2018.

[14] M. M. Gospodarczyk, M. N. Fisher, *IAEA Releases 2019 Data on Nuclear Power Plants Operating Experience*. IAEA, 2020. Online: www.iaea.org/newscenter/news/iaea-releases-2019-data-on-nuclear-power-plants-operating-experience
[15] F. Schroth, *GRIFF Aviation Launches the GRIFF 300 – One BIG Drone.* Drone Life, 2016. Online: https://dronelife.com/2016/12/20/griff-aviation-launches-griff-300-one-big-drone/
[16] MVM Atomerőmű, *Hogyan működik?* Online: www.atomeromu.hu/hu/rolunk/technika/HogyMukodik/Lapok/default.aspx
[17] J. Feist, *How fast can a drone fly? – how to fly, the science of flight.* DroneRush, 2018. Online: https://dronerush.com/how-fast-can-a-drone-fly-science-of-flight-10953/
[18] W. James, *How much weight can a drone carry?* Best Quadcopter, 2020. Online: www.best-quadcopter.com/buying-guide/2020/06/how-much-weight-can-a-drone-carry/
[19] Jurás Zs., „Atomerőmű, mint a kritikus infrastruktúra egy elemének veszélyeztetése, őrzésének és védelmének fő feladatai," *Bánki Közlemények,* 1. évf. 3. sz. 32–37. 2018.
[20] Power Technology, *Karachi Nuclear Power Plant (KANUPP) Expansion.* Online: www.power-technology.com/projects/karachi-nuclear-power-plant-expansion/
[21] Katona T. J., *A konténment és rendszerei; A konténment konstrukciós kialakítása és szerkezeti integritása.* Kézirat, Budapesti Műszaki Egyetem, 2015.
[22] Kiss B., Palik M., Major G., „Migration from Bird's Eye View," *Repüléstudományi Közlemények,* 29. évf. 3. sz. 189–202. 2017.
[23] Kováts I., *Atommagreaktorok hőtechnikája.* Kézirat, Budapest, Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat, 1959.
[24] Lublóy É., Gyapjas J., „A betonfelület leválásának hatása a szerkezet állékonyságára és a mentési munkákra," *Műszaki Katonai Közlöny,* 30. évf. 1. sz. 111–121. 2020. Online: https://doi.org/10.32562/mkk.2020.1.8
[25] Manga L., „Drónok és alkalmazási területeik, avagy szóba jöhetnek-e egy esetleges nukleáris baleset esetén," *Műszaki Katonai Közlöny,* 26. évf. 2. sz. 183–196. 2016.
[26] R. Meiswinkel, J. Meyer, J. Schnell, *Design and Construction of Nuclear Power Plants.* BetonKalender, Ernst & Sohn, 2011. 31–32.
[27] Worldbuilding, *What would happen if all 433 nuclear reactors had meltdowns? [closed].* Online: https://worldbuilding.stackexchange.com/questions/65198/what-would-happen-if-all-433-nuclear-reactors-had-meltdowns
[28] Michalovszky Cs., *Négyjegyű függvénytáblázatok.* Budapest, Nemzeti Tankönyvkiadó, 2004.
[29] Wikimedia Commons, *File: Schema reacteur eau pressurisée.svg KKW mit DWR.png, CC BY-SA 3.0.* Online: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1170061
[30] World Nuclear Association, *Nuclear Power in France.* Online: www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/france.aspx
[31] World Nuclear Association, *Nuclear Power in Pakistan.* Online: www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/pakistan.aspx
[32] World Nuclear Association, *Nuclear Power in the World Today.* Online: www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx
[33] O. Becker, *Nukleáris létesítmények terrorfenyegetettsége.* Energiaklub, 2018. Online: https://energiaklub.hu/tanulmany/nuklearis-letesitmenyek-terrorfenyegetettsege-4602
[34] MVM Atomerőmű, *Hogyan működik?* Online: www.atomeromu.hu/hu/rolunk/technika/HogyMukodik/Lapok/default.aspx

[35] Pátzay Gy., Kossa Gy., Grósz Z., *Atomerőművek biztonsága és az atomerőművi balesetekből, üzemzavarokból levonható következtetések.* Közszolgálati Egyetem, Katasztrófavédelmi Intézet, OKF.
[36] Wikimedia Commons, *File:Boiling water reactor no text.svg.* Online: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14628031
[37] The Federation of Electric Power Companies of Japan, *Safety Measures at Nuclear Power Plants.* FEPC. Online: www.fepc.or.jp/english/nuclear/power_generation/safety_measures/index.html
[38] IAEA, *Security aspects of nuclear facilities.* International Atomic Energy Agency. Online: www.iaea.org/topics/security-aspects
[39] Shoki K., Hironobu U., "Quantitative evaluation of security of nuclear energy supply: United States as a case study," *Energy Strategy Reviews,* vol. 29, 100491, 2020. Online: https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100491
[40] Szegedi Péter, Békési Bertold, Az UAV-on alkalmazható szenzorok, *XIV. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia.* Szombathely, Nyugat-magyarországi Egyetem, 2015. 175–182. Online: http://publicatio.nyme.hu/613/1/TTK_14_Nemzetkozi_Konf_Eloadasok_201500516.pdf
[41] South Asia Terrorism Portal, *Terrorist and Extremist Groups of Pakistan.* SATP. Online: www.satp.org/satporgtp/countries/pakistan/terroristoutfits/group_list.htm
[42] C. Wheeler, *Terror Threat Alert: UK's nuclear plants are at serious risk of terrorist drone strikes.* Express, 2015. Online: www.express.co.uk/news/uk/559718/Nclear-plants-are-at-risk-from-a-terrorist-strike-by-unmanned-drones

Protection of Nuclear Power Plants against Drones

Whether we talk about nuclear power plants or unmanned aerial vehicle systems, both are well-known and divisive twentieth-century concepts. Criticism can be formed in favour of these two technical, technological achievements and / or even against them, but it must be understood that only those can be successful despite of all appearing obstacles which are needful, moreover for which there is a strong demand. In the publication below, the authors present the relationship between the physical protection of nuclear power plants in a specialised field, such as the nuclear industry, and the dynamically evolving aircraft of our time, unmanned aerial vehicles. From this article, the reader can learn about some of the safety features of nuclear power plants, their vulnerabilities in relation to their construction, and the need and solvability for protection against drones.

Keywords: *unmanned aircraft systems, drone, nuclear power plant, protection against UAVs, critical infrastructure*

Major Gábor alezredes, tanársegéd Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék major.gabor@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2927-127X	Gábor Major Lieutenant Colonel, Assistant Lecturer University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems major.gabor@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2927-127X
Tamás Miklós BSc-hallgató Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék geologus99@gmail.com orcid.org/0000-0002-0844-8729	Miklós Tamás BSc student University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems geologus99@gmail.com orcid.org/0000-0002-0844-8729

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
33. évfolyam (2021) 1. szám 85–95. • DOI: 10.32560/rk.2021.1.8

Sándor Zsolt, Pusztai Máté

A hazai pilóta nélküli légi járművekkel kapcsolatos szabályozás összehasonlítása a többi uniós tagállam gyakorlatával

A pilóta nélküli légijármű-rendszerek használatában jelentős változást hozott a 2020. december 31. napján hatályba lépett EU-s végrehajtási rendelet, amely alapjaiban határozza meg az ilyen eszközökkel való repülési műveletek végrehajtásának módját. A végrehajtási rendelet keretrendszert biztosít a tagállamok számára, és rögzíti az alapelveket. Bár végrehajtási rendeletről van szó, amely teljes egészében kötelező és közvetlenül alkalmazandó a tagállamokban, bizonyos területeken az egyes tagállamok ettől eltérhetnek, és szigorúbb feltételeket határozhatnak meg. Cikkünkben összefoglalóan bemutatjuk, hogy az egyes EU-s tagállamokban a keretrendszertől hogyan tér el a szabályozás.

Kulcsszavak: *pilóta nélküli légijármű-rendszerek, drónszabályozás, repülési műveletek, végrehajtási rendelet, drónok, UAS, UAV*

1. Bevezető

A 2020. december 31. napján hatályba lépett (EU) 2019/947 végrehajtási rendelet (Végrehajtási Rendelet) az uniós tagállamok számára egy követendő jogi keretrendszert határozott meg a pilóta nélküli légijármű-rendszerekkel végrehajtott repülési műveletekkel kapcsolatosan [1]. A jogszabály részletesen meghatározza, hogy kik és milyen feltételek mentén használhatják a pilóta nélküli légi járműveiket. A szabályozás Európa-szerte keretet biztosít a képzéssel, vizsgáztatással, nyilvántartásba vétellel és a légtérhasználattal kapcsolatosan. A végrehajtási rendelet jellegénél fogva és az Európai Unió működéséről szóló szerződés 288. cikke értelmében, teljes egészében kötelező és közvetlenül alkalmazandó valamennyi tagállamban [2].

Az egységes szabályrendszer célja, hogy biztosítsa a határokon átívelő azonos használati kereteket, egyfajta uniós minimumot, miközben a Végrehajtási Rendeletben szabályozott területeken a részletszabályok kialakítása a tagállamok feladata maradt. Több esetben tapasztalható, hogy a Végrehajtási Rendelet alapján meghozott tagállami jogszabályok szigorúbb szabályozási elemeket tartalmaznak. Ilyenre példa a képzés és vizsgáztatás, valamint a nyilvántartásba vételi eljárások.

Eltérések mutatkoznak az egyes tagállamok joggyakorlati megoldásai között olyan területeken is, amelyeket a Végrehajtási Rendelet nem szabályozott. Ilyenre példa a képzés vagy vizsgáztatás díjai, de idesorolhatók a légtérhasználatra vonatkozó egyes korlátozó intézkedések

bevezetései is, amelyre példa a magyar megoldás, miszerint lakott terület felett csak eseti légtér kijelölését és annak aktiválását követően van lehetőség műveletet végrehajtani.

Cikkünkben feltárjuk egyes, a 2021. január 1-je óta alkalmazott keretrendszer alapján a tagállamok közötti különbségeket a Végrehajtási Rendelet szerinti „nyílt" műveleti kategóriában repülni kívánó távpilóták képzése és vizsgáztatása, valamint a nyilvántartásba vételi eljárások területén, és kitekintünk más kontinensek országaiban alkalmazott gyakorlatokra is.

2. Képzés és vizsgáztatás

A Végrehajtási Rendelet részletesen meghatározza azokat az alapkompetenciákat, amelyekkel egy távpilótának rendelkeznie kell, hogy egy műveletet végrehajthasson. A „nyílt" kategórián belüli műveletek elvégzéséhez két egymásra épülő képzést dolgoztak ki minden tagállamban: a Végrehajtási Rendelet UAS.OPEN.020/040 és UAS.OPEN.030 pontjai, illetve a Végrehajtási Rendelethez tartozó AMC[1]-k és GM[2]-ek alapján [3]. A magasabb szintű (sztenderd forgatókönyv szerinti – STS –, illetve speciális műveletek végzésére jogosító) képzéseket és vizsgákat még nem alakították ki, illetve részletes szabályozásuk még várat magára, így ezekkel kapcsolatban nem áll rendelkezésre olyan információ, amely ezeknek a képzéseknek és szabályozásuknak alapos elemzését lehetővé tenné.[3]

2.1. Képzések elérhetősége és formája

A távpilótaképzés alapját az uniós tagállamokban – a Végrehajtási Rendelet előírásainak megfelelően – a UAS.OPEN.020 szerinti, az A1 és A3 műveleti alkategóriára jogosító tanfolyam adja. A képzés a vizsgált összes uniós tagállamban online érhető el – szintén igazodva a Végrehajtási Rendelet vonatkozó rendelkezéseihez.

A képzésen való részvételhez egyes esetekben online regisztráció szükséges, amelynek szigorúsága tagállamonként eltérő. Míg egyes országokban szigorú azonosítást (például személyi igazolvány lefényképezését követő manuális jóváhagyás) követően van lehetőség csak a képzést megkezdeni, addig más tagállamok esetén elegendő egy e-mail-címmel való regisztráció is.

Az Írország által létrehozott MySRS rendszerben a regisztráció feltétele a személyazonosító igazolvány szkennelt változatának megküldése, miközben Ausztria esetében kizárólag a vizsga megkezdéséhez kell regisztrálni, és bizonyos személyes adatok megadásán túl nem végez semmilyen tényleges ellenőrzést a rendszer a személyazonosság vonatkozásában. Az Európai Unió tagállamaihoz hasonló a helyzet az Amerikai Egyesült Államok (USA) és Kanada esetében, ahol szintén elérhetők a UAS.OPEN.020-hoz hasonló szintű online távpilótaképzések.

Az online képzés keretében megszerzett ismeretekről a jelölteknek a Végrehajtási Rendelet alapján vizsga formájában kell számot adni. Sikeres vizsga esetén a jelölt az A1 és A3 műveleti alkategóriákban használhatja a pilóta nélküli légi járművet.

---

1 *Acceptable Means of Compliance:* a megfelelés elfogadható eszközei.

2 *Guidance Material:* útmutató dokumentumok.

3 Egyedüli kivétel Írország, ahol a látótávolságon belüli sztenderd forgatókönyv (STS-01) szerinti műveletekre is felkészítő tanfolyam elérhető, de kivételes jellegéből adódóan, és a sztenderd forgatókönyvekre vonatkozó szabályok későbbi hatálybalépésére tekintettel e tanfolyam elemzése nem időszerű.

Amennyiben a távpilóta A2 műveleti alkategóriában szeretné használni az eszközt, akkor ahhoz további kompetenciák megszerzése szükséges. A Végrehajtási Rendelet szerint az A2-es alkategóriájú műveleteket csak olyan távpilóta hajthatja végre, aki úgynevezett távpilóta kompetenciatanúsítvánnyal rendelkezik. Ehhez a jelöltnek a sikeres UAS.OPEN.020 szerinti tanfolyamot követően nyilatkoznia kell, hogy teljesítette az önálló gyakorlati képzést, és sikeres vizsgát kell tennie a UAS.OPEN.030 szerinti kiegészítő elméleti ismeretekből.

Fontos megjegyezni, hogy a Végrehajtási Rendelet a UAS.OPEN.030 szerinti kiegészítő elméleti ismeretek esetén kizárólag a vizsgáztatás szabályait határozza meg (kérdések és szükséges helyes válaszok száma, témakörök), *elméleti tanfolyamon való részvétel kötelezettségét nem írja elő.* Több tagállam ezért nem szervez központi tanfolyamot, hanem hatóság által tanúsított képzőszervezeteknek biztosít lehetőséget, hogy UAS.OPEN.030 vizsgára felkészítő tanfolyamokat szervezzenek. Ebből következik, hogy a tanfolyam formája is eltérő (online vagy személyes) lehet az egyes képzőszervezetek döntése alapján.

Ezt a rendszert követi Németország, Írország, Olaszország, és hasonló elgondolás mentén működik a képzés az USA, Kanada és Ausztrália esetében is.

A képzésekről a vizsgált tagállamokra vonatkozó összefoglalót az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat
A képzések elérhetősége és formája a vizsgált tagállamokban [saját szerkesztés]

Ország	Képzés elérhetősége	Képzés formája
Magyarország	UAS.OPEN.020 esetében internetes képzés, előzetes regisztrációhoz kötött	UAS.OPEN.020 online e-learning-rendszerű
Ausztria	UAS.OPEN.020 esetében internetes képzés, előzetes regisztrációhoz kötött	UAS.OPEN.020 online e-learning-rendszerű
Németország	UAS.OPEN.020 esetében internetes képzés, előzetes regisztrációhoz kötött, kizárólag bejelentett német lakcímmel lehet regisztrálni	UAS.OPEN.020 online e-learning-rendszerű. UAS.OPEN.030 esetében a képzőszervezettől függ, hogy személyes vagy online
Franciaország	A francia hatóság (DGAC) által felügyelt AlphaTango nevű honlapon online formában érhető el a Nyílt kategória. (jelenleg kizárólag az ún. repülőmodell training működik, amely részben fedi le a drónos témaköröket. A honlapon már most is elérhető egy link, amely a későbbi „*Open Category*" tanfolyamra mutat, de egyelőre nem aktív.	Az AlphaTango nevű online platformon keresztül lesz elérhető minden Open kategóriás képzés, de ezek még kidolgozás alatt vannak a DGAC tájékoztatása szerint
Írország	UAS.OPEN.020 esetében internetes képzés, előzetes regisztrációhoz kötött. A MySRS rendszerben történő regisztráció során személyazonosító okmány feltöltése, személyes adatok megadása és az adatok helyességéről szóló nyilatkozat aláírása szükséges. A regisztráció nem automatikus, a feltöltött dokumentumokat ellenőrzik.	UAS.OPEN.020 online e-learning-rendszerű. UAS.OPEN.030 esetében a képzőszervezettől függ, hogy személyes vagy online
Olaszország	UAS.OPEN.020 online e-learning-rendszerű képzés az olasz hatóság (ENAC) honlapján UAS.OPEN.030 képzést a hatóság által elismert képzőszervezetek nyújtják	UAS.OPEN.020 online e-learning-rendszerű UAS.OPEN.030 esetében a képzőszervezettől függ, hogy személyes vagy online
Lengyelország	Kizárólag okmányokkal megvalósított azonosítást követő előzetes UAS-üzembentartói regisztrációt követően van lehetőség elvégezni a UAS.OPEN.020 képzést Ezt követően van lehetőség UAS.OPEN.030 képzés elvégzésére	UAS.OPEN.020 online e-learning-rendszerű UAS.OPEN.030 online e-learning-rendszerű

Ország	Képzés elérhetősége	Képzés formája
Szlovénia	UAS-üzembentartói regisztrációt követően van lehetőség elvégezni a képzést UAS.OPEN.020 képzés és vizsga a UAS-üzembentartói regisztrációkor érhető el UAS.OPEN.030 anyag PDF-ben érhető el	UAS.OPEN.020 online e-learning-rendszerű UAS.OPEN.030 online PDF-alapú dokumentum rendszerű
Amerikai Egyesült Államok	Minden távpilóta köteles legalább az ún. *Initial Aeronautical Knowledge* nevű vizsgát elvégezni. Erre a vizsgára interneten kell jelentkezni, de a vizsga személyes. A képzéssel ún. távpilóta-tanúsítvány szerezhető.	Képzőszervenként változik
Kanada	250 g alatt nem szükséges távpilótaképzés. Két képzési forma érhető el: Basic (inkább a UAS.OPEN.020-nak felel meg) online, Advanced (inkább a UAS.OPEN.030-nak felel meg)	Basic és Advanced elméleti kézpés: A TVK-t a hatóság honlapján teszik közzé. Ezenfelül a honlapról a felkészüléshez ajánlott irodalom listája található meg a honlapon. Az Advanced képzés esetében egy tesztrepülést is végre kell hajtani egy, a hatóság által jóváhagyott képzőszervezetnél.
Ausztrália	2 kg-nál nagyobb felszállótömegű drónok esetében, ha kereskedelmi tevékenységet végez a drón, távpilóta-engedélyt kell szerezni (*Remote Pilot Certificate* – RePL). BVLOS, valamint ellenőrzött légtérben végrehajtott műveletek esetén további tanfolyamot kell végezni (AROC – *Aeronautical Radio Operator's Certificate*).	2 kg alatti drónok esetében önkéntesen lehet tanfolyamot végezni RePL – tanúsított képzési szervezetnél végezhető tanfolyam. Elméleti és gyakorlati oktatást is magában foglal

2.2. Vizsgáztatás formája

A UAS.OPEN.020 előírásai szerint az uniós tagállamok ehhez az online képzéshez online, *személyes megjelenést nem igénylő vizsgát kötelesek kialakítani.* Ezt a vizsgált uniós tagállamok mindegyike megvalósította – Magyarországgal ellentétben, ahol személyes megjelenéshez kötött a vizsga letétele.

Jóllehet az online vizsgáztatás követelményét a Végrehajtási Rendeletben fogalmazták meg, így az az uniós tagállamokra vonatkozik, Kanada is online vizsgáztatást ír elő a UAS.OPEN.020-hoz hasonló, nemzeti hatósága által szervezett Basic tanfolyam elvégzését követően.

A UAS.OPEN.030 esetén a Végrehajtási Rendelet nem tartalmazza, hogy az elméleti ismeretek ellenőrzésének hogyan kell megvalósulnia, így ez lehet online vagy személyes megjelenést igénylő, hagyományos vizsga is. Rendelkezés csupán arra vonatkozik, hogy a vizsgáztatást az illetékes hatóság által kijelölt szervezetnek kell biztosítania.

A cikk írásakor (2021. február) több tagállam még nem készült fel a UAS.OPEN.030 szerinti vizsgáztatásra, ugyanis a vizsgakatalógusokban ezek nem szerepelnek (például Lengyelország), és csak a későbbiekben tervezik bevezetni.

A vizsgált tagállamokban megvalósuló vizsgáztatásról a 2. táblázat tartalmaz összefoglalót.

2. táblázat
A vizsgáztatás formája és módja a vizsgált tagállamokban [saját szerkesztés]

Magyarország	UAS.OPEN.020 és UAS.OPEN.030 esetén is személyes megjelenést igénylő vizsga a kijelölt vizsgaközpontban (KAV)
Ausztria	UAS.OPEN.020 online vizsga UAS.OPEN.030 személyes megjelenést igénylő vizsga
Németország	UAS.OPEN.020 online vizsga UAS.OPEN.030 esetében az adott képzőszervezettől függ (online vagy személyes)
Franciaország	Nem ismert
Írország	UAS.OPEN.020 online vizsga UAS.OPEN.030 esetében az adott képzőszervezettől függ (online vagy személyes)
Olaszország	Nem ismert
Lengyelország	UAS.OPEN.020 online vizsga UAS.OPEN.030 esetén a kijelölt és elismert szervezetektől függ
Szlovénia	UAS.OPEN.020 online vizsga UAS.OPEN.030 esetén a vizsgák várhatóan márciusban kezdődnek. A részletes ütemtervet később teszik közzé
Amerikai Egyesült Államok	Képzőszervenként változik
Kanada	A kanadai hatóság honlapján online történik a vizsga mind a Basic, mind az Advanced vizsga esetében Advanced gyakorlati vizsga *(flight review)* szervezése a képzőszervezet feladata, de a hatóság online rendszerébe töltik fel a vizsga eredményét, és a sikeres vizsga esetén lehet megszerezni a *Drone Pilot Certificate* nevű dokumentumot Kétévente ismeretfrissítő vizsgát kell tenni
Ausztrália	RePL vizsgát a tanúsított képzési szervezet intézi Az ausztrál hatóság által működtetett myCASA rendszerben online kvízt kell legalább 85%-os eredménnyel teljesíteni, ahhoz, hogy a UAS-üzembentartói akkreditációt *(Operator's accreditation)* megszerezze a jelentkező

2.3. Képzések és vizsgák díjai

Az Európai Unió vizsgált tagállamai a UAS.OPEN.020 tanfolyamokat ingyenessé tették, sőt a legtöbb esetben (Ausztria, Németország, Írország) ingyenes a vizsga is. (Magyarországon a képzés ingyenes, de a vizsga 4600 Ft-ba kerül.) A vizsgált nem uniós országokban, ahol erről rendelkezésre áll információ, egy jelképes (forintra átváltva körülbelül 3000 Ft-os) vizsgadíjat kell fizetni a vizsgáért.

A UAS.OPEN.030 vizsga azonban *mindenhol díjköteles a vizsgált uniós országokban.* A jelen dokumentum mellékletét képező táblázatban látható, hogy egyes tagállamok külön díjat határoztak meg az A2-re, mások pedig a tanúsított képzőszervezetekre bízzák a vizsgáztatást is, így a legtöbbször az általuk szervezett tanfolyam díja magában foglalja a vizsga díját is.

A UAS.OPEN.030-hoz hasonló, unión kívüli kiegészítő távpilótaképzések és vizsgák szintén díjkötelesek, azonban ezeknél olyan tartalmi eltérések lehetnek az uniós képzésekhez képest, amely miatt megtévesztő lehet az árak direkt összehasonlítása (különösen az ausztrál tanfolyamok esetében, ahol számos kiegészítő kompetencia – és azok díja – is megjelenik az árképzésben).

A vizsgált tagállamok képzési és vizsgadíjait a 3. táblázat tartalmazza összefoglalóan.

3. táblázat
Vizsgált tagállamokban a képzések és vizsgák díjai [saját szerkesztés]

Magyarország	UAS.OPEN.020 képzés ingyenes UAS.OPEN.020 és UAS.OPEN.030 vizsgák díja egységesen 4600 Ft
Ausztria	UAS.OPEN.020 ingyenes UAS.OPEN.030 vizsga díja 14,40 euró
Németország	UAS.OPEN.020 ingyenes UAS.OPEN.030 képzés esetében a képzőszervezettől függ. A gyakorlati részt is magában foglaló képzések ára vizsgával együtt bruttó 300 euró körül mozog
Franciaország	Nem ismert
Írország	UAS.OPEN.020 ingyenes UAS.OPEN.030 képzés esetében a képzőszervezettől függ. Az elméleti részt magában foglaló képzések ára bruttó 150 euró körül mozog
Olaszország	Nem ismert
Lengyelország	UAS.OPEN.020 ingyenes UAS.OPEN.030 képzés esetében a képzőszervezettől függ
Szlovénia	Üzemeltetői regisztráció, amely tartalmazza az online tanfolyamot, valamint az A1 és A3 vizsgát): 48,00 € Online üzemeltetői regisztráció, amely tartalmazza az online tanfolyamot, valamint az A1 és A3 vizsgát: 40,00 € Vizsga A2-re: 32,00 € ez még nincs
Amerikai Egyesült Államok	Nem ismert
Kanada	A vizsga díja 10 CAD (kanadai dollár) Advanced gyakorlati vizsga díja a képzőszervezettől függ
Ausztrália	A tanúsított képzési szervezettől függ. Egy RePL tanfolyam ára jellemzően 1500 AUD (ausztrál dollár) körül mozog. Elérhető olyan tanfolyam is, amely RePL és ReOC képzést is magában foglal (ára kb. 3500 AUD) Ezek az árak a vizsgadíjakat és a tanúsítványok kiállításának díját is magukban foglalják.

2.4. Képzőszervezetek

Általánosságban kijelenthető, hogy az uniós tagállamok mindegyike központilag, az illetékes légi közlekedési hatósága keretei között szervezte meg a UAS.OPEN.020 szerinti képzés és vizsgáztatás lebonyolítását, így e tekintetben *teljesen homogénnek mondható az európai országok szabályozása*. Fontos ugyanakkor megjegyezni, hogy ez elsősorban abból ered, hogy a UAS.OPEN.020 nem enged eltérést az abban foglalt szabályoktól, hiszen minden távpilóta-képzésnek ez a tanfolyam az alapja. Ugyanez a megfontolás állhat egyes, nem uniós országok szabályozása mögött is, hiszen ezekben az államokban is a legalacsonyabb szintű képzések gyakran központilag szabályozottak.

Ezzel szemben a UAS.OPEN.030, ahogy arra a 2.1. pontban is utaltunk, kizárólag a vizsga formai és tartalmi követelményeivel összefüggésben állapított meg szabályokat. Ezért a legtöbb tagállam piaci alapokra helyezte az ilyen képzések lebonyolítását azzal, hogy a képzést biztosító szervezetek számát nem korlátozza, csupán az ilyen képzési tevékenység végzésére való jogosultság megszerzését hatósági jóváhagyáshoz kötötte. Az Európai Unión kívüli és a vizsgálatba bevont országok (USA, Kanada, Ausztrália) – angolszász piacorientált szemléletű gazdasági berendezkedésük okán is – szintén a képzési tevékenység piaci alapú

megszervezését támogatták. Természetesen utóbbiak esetében is hatósági jóváhagyáshoz kötve a tevékenység végzésére való jogosultságot.

A vizsgált tagállamok képzőszervezeteiről az információkat a 4. táblázat tartalmazza összefoglalóan.

Lényeges kiemelni, hogy A1/A3 és A2 képzés esetén, ha a távpilóta rendelkezik sikeres vizsgával és így vizsgaigazolással vagy kompetenciatanúsítvánnyal, akkor az a kölcsönös elfogadás elve alapján mindegyik tagállamban érvényes, függetlenül annak kibocsátó tagállamától – feltéve, hogy a kibocsátás EU-s tagállamban valósult meg.

4. táblázat
A képzőszervezetek által biztosított képzések a vizsgált tagállamokban [saját szerkesztés]

Magyarország	UAS.OPEN.020 online képzést a KTI honlapján lehet elvégezni UAS.OPEN.030 képzésre jóváhagyott szervezet jelenleg még nem elérhető
Ausztria	UAS.OPEN.020 online képzést az osztrák hatóság honlapján lehet elvégezni
Németország	UAS.OPEN.020 online képzést a német hatóság honlapján lehet elvégezni UAS.OPEN.030 szerinti (A2 műveleti alkategóriára vonatkozó) képzést a Szövetségi Légügyi Hatóság által jóváhagyott szervezetek végezhetik. Az erre jogosult szervezetek listája az alábbi linken elérhető: www.kopter-profi.de/fernpiloten-zeugnis%20_
Franciaország	Az AlphaTango felületet a DGAC felügyeli, így feltételezhető, hogy a UAS.OPEN.020 és 030 képzéseket egyaránt a hatóság szervezi online formában
Írország	UAS.OPEN.020 online képzést az ír hatóság honlapján lehet elvégezni (mySRS Platform) UAS.OPEN.030 szerinti (A2 műveleti alkategóriára vonatkozó) képzést az ír légügyi hatóság által jóváhagyott szervezetek végezhetik. Az erre jogosult szervezetek (ún. DUTO-k) listája az alábbi linken elérhető: www.iaa.ie/general-aviation/drones/rpas-training-facilities_
Olaszország	Nem ismert
Lengyelország	Országszerte számos szervezet van, amelyek képzést biztosítanak. Mivel korábban volt nemzeti STS-szabályozás, így ezen entitások továbbra is működhetnek új képzési kínálattal (A2) 50 feletti szervezetről van szó. Részletes lista a hatóság honlapján
Szlovénia	Nem ismert
Amerikai Egyesült Államok	Az FAA által nyilvántartásba vett képzőszervezetek *(Knowledge Testing Centers)* végzik a képzést (kezdő és hagyományos pilótaátképzéseket egyaránt)
Kanada	A kanadai légügyi hatóság által nyivántartásba vett képzőszervezetek végezhetnek elméleti és gyakorlati képzést is. Utóbbi az Advanced tanfolyam esetében kötelező
Ausztrália	Az ausztrál hatóság tanúsítványt ad ki a tanúsított képzési szervezetekről *(certified training providers),* és nyilvántartást vezet róluk (jelenleg 46 ilyen szervezet működik az országban)

3. Nyilvántartásba vétel

A nyilvántartásba vétel vagy regisztráció kapcsán két rendszert kell elkülönítenünk: egyfelől a pilóta nélküli légijármű-rendszerek (UAS) nyilvántartásba vételét, azaz az eszközregisztrációt, másfelől azok üzembentartóinak (UAS-üzembentartó) nyilvántartásba vételét. Ez az elkülönítés azért fontos, mert a Végrehajtási Rendelet eltérő minimumszabályokat vezetett be a két nyilvántartás kapcsán, és ennek megfelelően a két területet külön-külön mutatjuk be.

3.1. Eszközregisztráció

A Végrehajtási Rendelet 14. cikke az eszközregisztrációt a UAS-ek csak egy része, az úgynevezett tanúsított *(certified)* UAS-ek vonatkozásában tette kötelezővé. Jelenleg ilyen tanúsított UAS azonban nem létezik az Európai Unióban, így az uniós jog erejénél fogva kötelező eszköznyilvántartások gyakorlatilag nem tartalmaznak adatot.

A nemzetközi kitekintés és összehasonlítás eredménye azt mutatja, hogy az Európai Unióban – Magyarországon kívül (ahol minden legalább 250 g maximális felszállási tömegű UAS-t nyilvántartásba kell venni – kevés tagállam terjesztette ki az eszköznyilvántartás hatályát a nem tanúsított UAS-ekre. Ilyen kivétel Franciaország, ahol a Végrehajtási Rendelet keretein túlterjeszkedik az eszköznyilvántartás tárgyi hatálya[4] – bár ott sem a magyar szabályozással megegyező mértékben [4].

A széles körű eszközregisztrációra ugyanakkor az Európai Unión kívül is találunk példát: az USA-ban minden 250 g vagy annál nagyobb maximális felszállótömegű UAS-t nyilvántartásba kell venni, aminek a díja 5, illetve 10 USD (függően a felhasználás módjától). Kanada és Ausztrália egyaránt az uniós előírásnál szélesebb körű eszköznyilvántartást vezet, előbbi 5 AUD díj ellenében [5], utóbbi pedig 25 kg MTOM alatti UAS-ekre ingyenesen [6].

Érdekesség, hogy a vizsgált nem uniós tagállamok mindegyike időben szintén korlátozza az eszközregisztráció érvényességét (USA 3 év, Ausztrália és Kanada pedig 1 év), szemben a magyar szabályozással, amely kizárólag a légi közlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvényben (Lt.) meghatározott esetekben törli a UAS-t a nyilvántartásból. Így Magyarországon, egyszeri díjfizetés ellenében – elméletileg – határozatlan ideig érvényes az.

3.2. UAS-üzembentartók regisztrációja

A UAS-üzembentartókat illetően minden uniós tagállam a Végrehajtási Rendelet 14. cikke alapján alakította ki a nyilvántartását. Eltérést inkább a díjakban és a nyilvántartásba vétel érvényességi ideje tekintetében fedezhetünk fel. Előbbi eltérést elsősorban az egyes tagállamok eltérő gazdasági és vagyoni viszonyai magyarázzák. Ennél fontosabb viszont, hogy számos uniós tagállamban a nyilvántartásba vétel érvényességi ideje – szemben a magyar szabályozással (Lt. 17. §) – határozott idejű. Ausztria esetében 3 évre [7], Írország esetében pedig 2 évre szól a nyilvántartásba vétel [8], amit a határidő lejárta után ismételten kérelmezni lehet. Olaszország [9] egészen különös rendszert vezetett be, ugyanis a nyilvántartásba vétellel együtt különböző szolgáltatási csomagokat biztosít a nyilvántartásba vett UAS-üzembentartóknak. A szolgáltatási csomagokat mindig egy évre lehet megvásárolni, így a nyilvántartásba vételt is évente kell kérelmezni, a csomagok – azaz a regisztráció – díja pedig igazodik azok tartalmához [9].

A vizsgált, Európai Unión kívüli államok egyike sem biztosít határozatlan ideig érvényes regisztrációt a UAS-üzembentartók számára, és a díjak tekintetében is eltérések mutatkoznak.

[4] A francia légi közlekedési hatóság honlapján közzétett információk ellentmondásosak (az angol és francia nyelvű változatok eltérően írnak az eszköznyilvántartás terjedelméről), az a megállapítás, hogy a francia rendszer az uniós minimumnál szélesebb körű eszköznyilvántartást ír elő, az említett ellentmondások ellenére is helytálló.

A vizsgált tagállamok nyilvántartásba vételi eljárásairól további részletes információk az 5. táblázatban találhatók.

5. táblázat

A nyilvántartásba vételre vonatkozó eljárások és kötelezettségek a vizsgált tagállamokban [saját szerkesztés]

Ország	Regisztrációs kötelezettségek	Regisztráció díja
Magyarország	A UAS-üzembentartók számára kötelező a nyilvántartásba vétel Minden olyan UAS-t nyilvántartásba kell venni, amely nem játék kategóriájú A nyilvántartásba vétel a légi közlekedési hatóságnál történik, kérelem útján	A nyilvántartásba vétel eljárásonként 2000 Ft és határozatlan ideig érvényes
Ausztria	A UAS-üzembentartók számára kötelező a nyilvántartásba vétel	31,20 EUR-ba kerül és 3 évig érvényes az üzembentartói regisztráció
Németország	A UAS-üzembentartók számára kötelező a nyilvántartásba vétel	Nem ismert
Franciaország	Minden UAS-üzembentartót és minden C1, C2, C3, C4 osztályú pilóta nélküli légi járművet nyilvántartásba kell vetetni. Mindkét regisztráció az AlphaTango nevű honlapon történik online	Nem elérhető az információ
Írország	A UAS-üzembentartók számára kötelező a nyilvántartásba vétel	30 EUR-ba kerül és 2 évig érvényes az üzembentartói regisztráció
Olaszország	A UAS-üzembentartók számára kötelező a nyilvántartásba vétel	A UAS-üzembentartói regisztráció különböző a d-Flight nevű szolgáltató (ez az olasz légiforgalmi irányító szervezet leányvállalata) által nyújtott csomagok megrendelésével lehetséges. E csomagok ára 6 (Base), illetve 24 EUR/év (Pro)
Lengyelország	A UAS-üzembentartók számára kötelező a nyilvántartásba vétel, és személyes okmánnyal kell neten keresztül regisztrálni, így biztosított az azonosítás, amelyet manuálisan hagynak jóvá	Ingyenes
Szlovénia	A UAS-üzembentartók számára kötelező a nyilvántartásba vétel	A1/A3: 48 vagy 40 EUR A2: 32 EUR
Egyesült Államok	A legalább 0,25 kg legnagyobb felszállótömegű drónok nyilvántartásba vétele kötelező	Rekreációs célú, azaz hobbidrónok esetében 5 USD (3 évig érvényes) Part 107 szerinti regisztráció szintén 5 USD (3 évig érvényes)
Kanada	A legalább 0,25 kg legnagyobb felszállótömegű drónok nyilvántartásba vétele kötelező 25 kg feletti drónok esetében nincs nyilvántartásba vétel, hanem ún. *Special Flight Operations Certificate* szükséges	A 250 g és 25 kg közötti legnagyobb felszállótömegű drónok regisztrációjának díja 5 CAD
Ausztrália	Minden kereskedelmi tevékenységre használt drónt nyilvántartásba kell vetetni. A drónnal kereskedelmi tevékenységet végző üzembentartók kötelesek online akkreditáltatni magukat Az általános szabályokon *(general drone safety rules)* túli kereskedelmi célú műveleteket pilóta nélküli légi jármű üzembentartói tanúsítvány *(Remotedly Piloted Aircraft Operator's Certificate* – ReOC) birtokában lehet végezni. Kizárólag ReOC-al rendelkező szervezet foglalkoztathat távpilótát. Ezért róluk is nyilvántartást vezet a hatóság	A kereskedelmi tevékenységre használt drónok regisztrációja ingyenes, online történik. A regisztráció 1 évig érvényes A kereskedelmi tevékenységet végző UAS-üzembentartók akkreditációja ingyenes, online történik. Az akkreditáció 3 évig érvényes.

4. Összefoglaló

A vizsgálat alapján megállapítható, hogy az EU által biztosított keretrendszert, ahol arra lehetőségük van, az egyes tagállamok eltérően töltik fel tartalommal, és saját hatáskörben az európai minimumoktól a szigorúbb irányban eltérnek. Ezek előremutató megoldásként jelentkeznek, mivel biztosítani tudják, hogy a felhasználók megfelelő tudással rendelkezzenek, illetve az adott állam nemzeti hatósága rendelkezzen olyan adatbázissal, amely a tanúsított UAS-eken kívüli berendezésekről és azok üzembentartóiról is részletes információkat tartalmaz. Ennek különös jelentősége lesz a jövőben, amikor az úgynevezett retrofit megoldások elterjednek, illetve a részletes adatbázisok egyes hatósági eljárásokhoz tudnak adatokat biztosítani, támogatva a hatósági munkavégzést. Utóbbi különösen fontos, amikor utólagosan szükséges egy-egy esemény (baleset, légi közlekedési esemény stb.) vizsgálata.

A mű az NKFIH-866-5/2020 iktatószámú Megállapodás alapján az NKFI Hivatal és az Innovációs és Technológiai Minisztérium által biztosított támogatással, a Biztonsági Technológiák Nemzeti Laboratórium finanszírozásával valósult meg.

Hivatkozások

[1] A Bizottság (EU) 2019/947 végrehajtási rendelete (2019. május 24.) a pilóta nélküli légi járművekkel végzett műveletekre vonatkozó szabályokról és eljárásokról
[2] Az Európai Unióról szóló szerződés és az Európai Unió működéséről szóló szerződés (2016/C 202/01)
[3] Annex II to ED Decision 2020/022/R – Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to the Annex (Part-UAS) to Regulation (EU) 2019/947 — Issue 1, Amendment 1
[4] République Française, *Enregistrement d'un drone (Service en ligne).* Online: www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/R52123
[5] Government of Canada, *Registering your drone: Overview.* Online: https://tc.canada.ca/en/aviation/drone-safety/registering-your-drone-overview
[6] Australian Government, *Register your drone.* Online: www.casa.gov.au/drones/register
[7] Austrocontrol, *Registrierung.* Online: www.dronespace.at/registrierung
[8] IAA, *Drone FAQs – Operator Registration.* Irish Aviation Authority. Online: www.iaa.ie/general-aviation/drones/drone-faqs–-operator-registration
[9] D-flight, *Prices the d-flight services.* Online: www.d-flight.it/new_portal/en/tariffe/

Comparison of the Hungarian Drone Legislation with the Practice of Other EU Member States

A significant change has emerged in the use of unmanned aerial vehicle system since December 31, 2020, when the EU Implementing Regulation entered into force, which determines the execution of the flight missions with these equipments. The implementing regulation provides a framework for the Member States and sets the principles. Although it is an implementing regulation that

is binding in its entirety and is directly applicable in all Member States, in certain domains the countries may derogate from it and impose stricter conditions. This article presents how some Member States deviate from this framework.

Keywords: *unmanned aerial vehicle, unmanned aircraft system, drone regulation, drone legislation, flight missions, implementing regulations, UAV, UAS*

Dr. Sándor Zsolt légi közlekedési szakértő KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. Légiközlekedési Kutatóközpont sandor.zsolt@kti.hu orcid.org/0000-0002-5678-6760	Zsolt Sándor, PhD aviation expert KTI Institute for Transport Sciences Non-profit Ltd. Research Centre for Air Transport sandor.zsolt@kti.hu orcid.org/0000-0002-5678-6760
Dr. Pusztai Máté légi közlekedési szakértő KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. Légiközlekedési Kutatóközpont Pusztai.mate@kti.hu orcid.org/0000-0001-6983-4554	Máté Pusztai, PhD aviation expert KTI Institute for Transport Sciences Non-profit Ltd. Research Centre for Air Transport Pusztai.mate@kti.hu orcid.org/0000-0001-6983-4554

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
33. évfolyam (2021) 1. szám 97–122. • DOI: 10.32560/rk.2021.1.9

Sári János, Békési Bertold

Légi járművek közelségi és figyelmeztető rendszerei

A cikkben a szerzők ismertetik a repülőgépek közelségi és figyelmeztető rendszereivel kapcsolatos kutatási tevékenységüket. Rövid bevezetést követően, a szerzők bemutatják a különféle figyelmeztetéseket és azok szintjeit, továbbá röviden prezentálják a Master Warning/Caution lámpajelzést, a hajtóművek, illetve a fedélzeti rendszerek adatkijelzését integráló és személyzetfigyelmeztető, valamint a központi elektronikus repülőgépállapot-figyelő rendszert. Célunk nemcsak egy átfogó, könnyen megérthető összefoglaló elkészítése, hanem a modern kori repülésben megtalálható figyelmeztető rendszerek részletekbe menő bemutatása. Ebből kifolyólag az átesés veszélyére figyelmeztető, a határsebesség-túllépésre figyelmeztető, a magasságfigyelmeztető, a veszélyes földmegközelítést jelző, a fedélzeti összeütközés-elkerülő, valamint a le- és felszállópálya tanácsadó rendszer működésének, felépítésének, hang- és vizuális jelzéseinek szemléltetése.

Kulcsszavak: *repülési figyelmeztető/riasztó rendszer, átesés, határsebesség, magasságfigyelmeztető, -jelző rendszer, fedélzeti összeütközés-elkerülő rendszer, le- és felszállópálya-tanácsadó rendszer*

1. Bevezetés

A repülésbiztonság permanens javulásának köszönhetően, az elmúlt évtizedekben a repülőgépek proliferációja folyamatosan nőtt. Ennek eredményeképp olyan korszerű digitális fedélzeti műszereket és intelligens berendezéseket építettek be, amelyek integrálják azokat a rendszereket, amelyek a pilóták munkavégzését, valamint a repülés biztonságos végrehajtását segítik. Ilyennek számítanak a légi járműveken található közelségi és figyelmeztető rendszerek. Ezek különféle jelzésekkel információkat szolgáltatnak a legénység számára, az adott helyzetben szükséges cselekvésről, a közelgő veszély elkerülése végett. Természetesen a rendszer mindig az éppen aktuális repülési szakasszal releváns figyelmeztetéseket teszi lehetővé, meggátolva az egyéb, pilóták megzavarására alkalmas értesítéseket.

2. Figyelmeztetések és azok szintjei

A figyelmeztető rendszerek által generált riasztásoknak különféle szintjeit, fokozatait különböztethetjük meg (1. ábra):

- „A" szintű riasztás „*Warning*" (Az ilyen típusú jelzések a személyzet azonnali beavatkozását igénylik);
- „B" szintű riasztás „*Caution*" (A legénység fokozott éberségét szorgalmazza, valamint a pilóták lehetséges beavatkozását prediktálja);
- „C" szintű riasztás „*Advisories*" (Ezek a jelzések megkövetelik a személyzet fokozott éberségét, legkevésbé sürgős figyelmeztető jelzés).

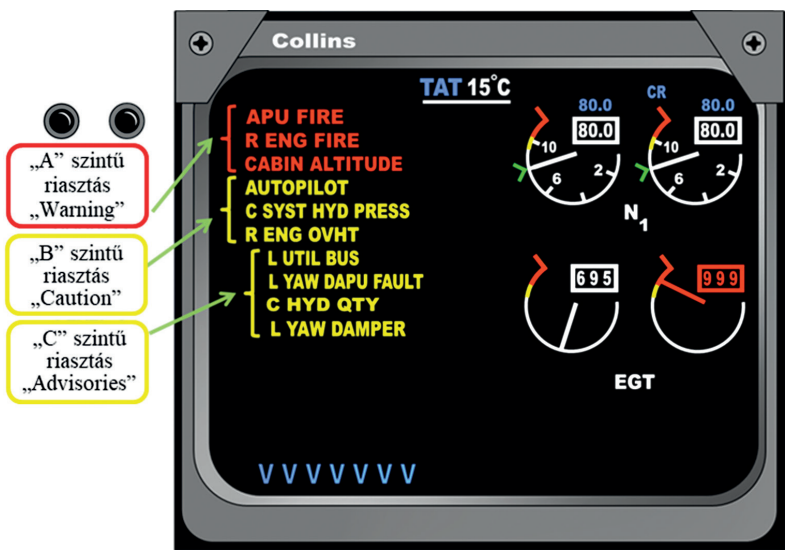
A repülőgép személyzetét a következő figyelmeztető jelzések érhetik:

- vizuális;
- hang;
- érzékszervi (tapintható).

Vizuális jelzések

Ilyen típusú jelzések esetén a riasztási szinteket eltérő színek jelölik az alábbiak szerint:

- „*Warning*" piros szín;
- „*Caution*" sárga vagy borostyán;
- „*Advisory*" a vörös és a zöld kivételével bármilyen szín lehetséges (kivétel EICAS[1]).



1. ábra
A riasztások különböző szintjei [14]

A technológia fejlődésével párhuzamosan a repülőgépek kijelző rendszerei is átalakultak. Az analóg műszerek az évek elteltével fokozatosan eltűntek, helyükre azok digitális társait építették be [4], [7].

[1] EICAS – *Engine Indicating & Crew Alerting System* (Boeing): hajtóművek és fedélzeti rendszerek adatkijelzését integráló és személyzetfigyelmeztető rendszer.

Az előbb említett folyamatnak köszönhetően a vizuális jelzések megjelenítését (lásd 2. ábra) kétféle módon valósítják meg:

- elektronikus képernyők segítségével (a különféle figyelmeztetések színes szöveggel vagy szimbólumokkal jelennek meg);
- jelzőfények és jelzések (a piros lámpák, illetve fényvisszaverő jelzések „A" szintű riasztást jeleznek, amelyek kiküszöbölése nélkül nem folytatódhat a repülés; Borostyánsárga fény jelöli azt a rendszerelemet, amely üzemképessége határához közelít. Ennek megelőzéséhez korrekciós intézkedésekre van szükség.)

Hangjelzések

Hangjelzés esetén a pilótának kötelezően át kell vennie az irányítást a repülőgép felett. Ezek a jelzések a légi jármű típusától függően különbözőek lehetnek (egyszerű sípolás, harangszó, mesterséges beszédhang vagy ezek kombinációja). Több figyelmeztetés esetén elsőbbséget élveznek a következő üzenetek:

- Stall;[2]
- Windshear,[3]
- GPWS,[4]
- ACAS[5] [4], [7];

2. ábra
A figyelmeztető rendszerek jelzőtablóinak színjelzései [13]

[2] Átesés.
[3] Szélnyírás.
[4] *Ground Proximity Warning System:* veszélyes földmegközelítést jelző rendszer (földközelség figyelmeztető rendszer).
[5] *Airborne Collision Avoidance System:* fedélzeti összeütközés-elkerülő rendszer.

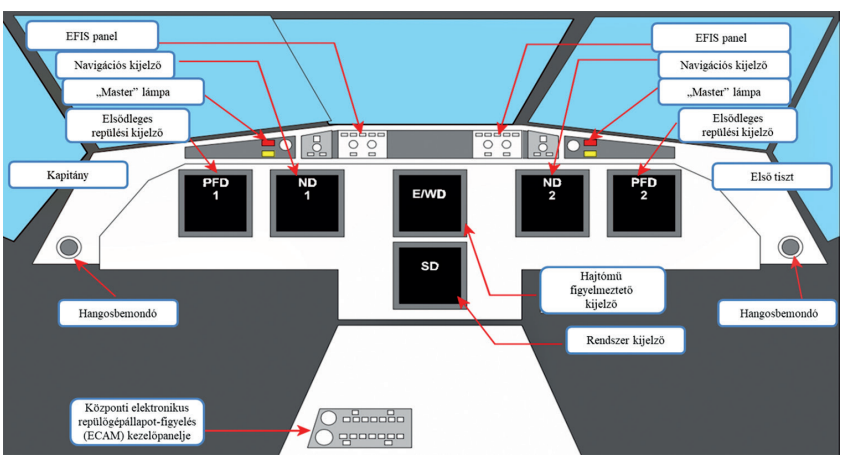
Érzékszervi (tapintható) jelzések

A kezelőszervek rezgése jelzi a repülőgépek sebességvesztését (átesés esetén), ami a személyzet azonnali beavatkozását követeli az irányítás elvesztésének megakadályozása érdekében. Ilyen esetekben a kormányoszlop-kitérítő automata segíti a légi jármű vezetőjét a kormányzásban [4], [7].

Master Warning/Caution lámpajelzés

A fentiekben említett jelzéseken kívül a személyzet számára rendelkezésre áll egy úgynevezett „Master" figyelmeztető lámpa (3. ábra), amely általában a pilóták látóterének középpontjában található. A fény mindaddig látható, amíg a probléma fennáll, illetve a gomb megnyomásának pillanatáig a személyzet által. Tűz, illetve a kabin kritikus magassága esetén hangjelzés hallható, amely a gomb megnyomásával elnémítható [7].

Régebbi repülőgépek esetén a személyzet egyik tagja egy úgynevezett központi figyelmeztető és riasztás panelt – *Master Caution and Warning Panel* (MCWP) – kezelt, amin a különféle figyelmeztetések jelzőlámpái egy adott racionális sorrendben voltak elhelyezve. Manapság az elektronikus rendszerek térhódításával, a legtöbb riasztás, illetve figyelmeztetés megjelenítése EFIS[6] rendszerek segítségével történik, amelyek hangjelzésekkel és a „Master" fényjelzéssel párhuzamosan észlelhetők [4], [12].



3. ábra
Airbus A320 pilótafülkéjének kijelzői és figyelmeztető rendszerei (Sári János szerkesztése [7] alapján)

Hajtóművek és fedélzeti rendszerek adatkijelzését integráló és személyzetfigyelmeztető rendszer (EICAS)

[6] *Electronic Flight Instrument System:* elektronikus repülőgép-vezetési műszerrendszer.

Az EICAS feladata a repülőgép rendszereinek permanens figyelése. A rendszer megjeleníti a hajtómű paramétereit, valamint a gyártótól és a típustól függően egyéb információkat is szolgáltat. Ilyen például az üzemanyag mennyisége, az utastér nyomása vagy a futómű helyzete (4. ábra). Meghibásodás esetén, illetve bármely hibajelző lámpa felvillanásakor az EICAS üzenetet küld a CRT[7]-re, figyelmeztetve a pilótákat megfelelő intézkedések megtételére.

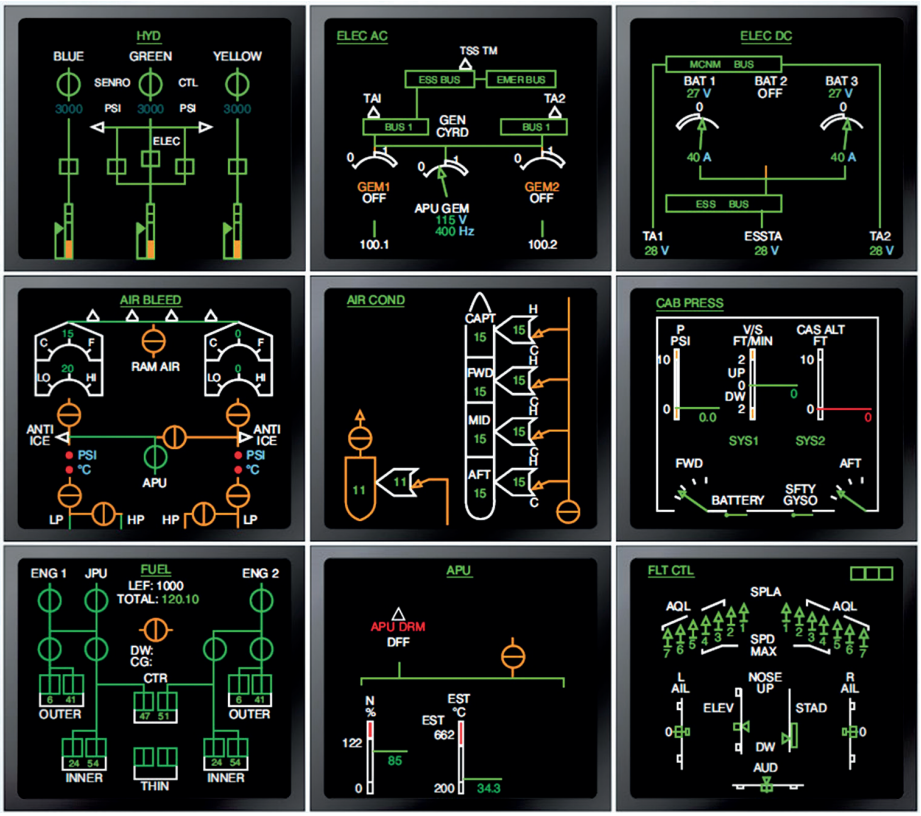
Fontos megemlítenünk, hogy a fentiekben megfogalmazott riasztási szintekhez, fokozatokhoz tartozó színkódolástól az EICAS-rendszer annyiban tér el, hogy *„Advisory"* besorolásnál a fényjelzés csak és kizárólag borostyánszínben látható [7], [22].

4. ábra
EICAS-panel [22]

Központi elektronikus repülőgépállapot-figyelő rendszer (ECAM)

A központi elektronikus repülőgépállapot-figyelő rendszer *(Electronic Centralised Aircraft Monitoring)* lényegében az EICAS-rendszer Airbus által továbbfejlesztett változata (lásd 5. ábra). Az ECAM-rendszernek négy alapvető üzemmódja van: repülési fázis, tanácsadás, hibával kapcsolatos és a kézi. Általában a repülési fázis üzemmódot használják. A tanácsadás és a hibával kapcsolatos üzemmódok automatikusan megjelennek, ahogy a helyzet megköveteli. Amikor az elsődleges monitoron megjelenik egy tanács, a másodlagos monitor automatikusan megjeleníti a számértékeket. Ugyanez vonatkozik a meghibásodáshoz kapcsolódó üzemmódra is, amely minden más üzemmóddal szemben precedens, függetlenül attól, hogy melyik módot választották ki a hiba idején. A kijelzők színkódolással hívják fel a figyelmet, fontossági sorrendben [9], [21].

[7] *Cathode Ray Tube:* Katódsugárcső.



5. ábra
Az ECAM kézi üzemmódban rendelkezésre álló 9 rendszerdiagramja a 12-ből [9]

3. Repülési figyelmeztető/riasztó rendszer[8]

A repülési figyelmeztető/riasztó rendszer leggyakrabban az alábbi meghibásodások, illetve szituációk esetén állít elő valamilyen figyelmeztető jelzést:

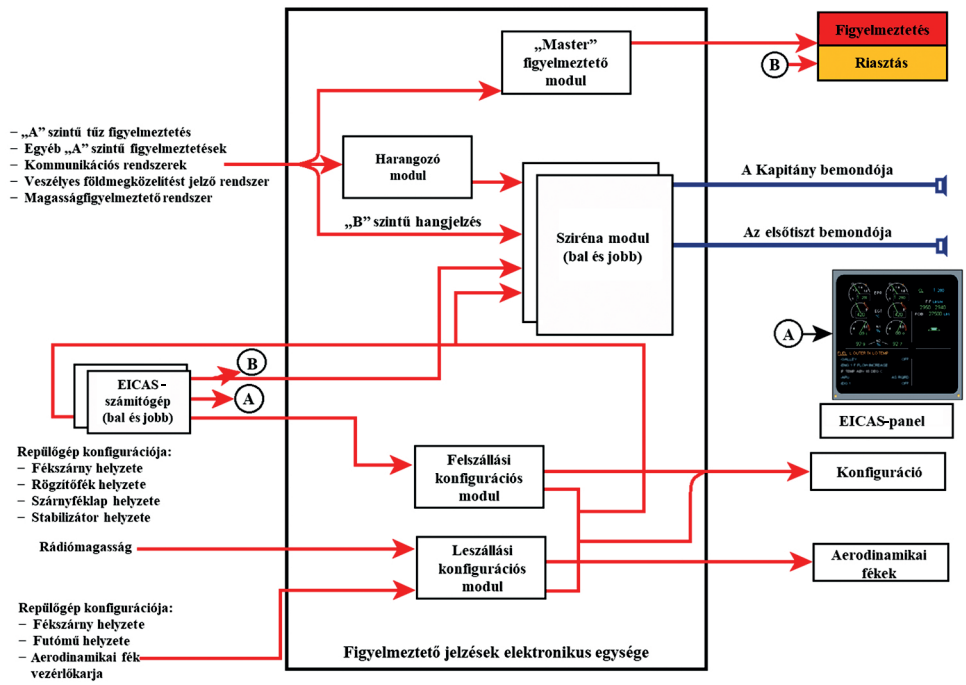
- a hajtómű és a sárkányszerkezet meghibásodása esetén;
- az aerodinamikai határértékek átlépése esetén (ilyen esetben az FWS a következő riasztásokat továbbítja a legénység felé: „Altitude Alerting",[9] „Overspeed Warning",[10] „Stall Warning"[11]);

[8] FWS – *Flight Warning System:* Repülési figyelmeztető/riasztó rendszer.
[9] Magasságfigyelmeztetés.
[10] Figyelmeztetés határsebesség túllépésre.
[11] Figyelmeztetés átesés veszélyére.

- külső veszélyek esetén (a repülésbiztonságot veszélyeztető külső veszélynek számít a föld közelsége, valamint a légtérben tartózkodó egyéb légi eszközök. Ezek a későbbiekben bemutatott GPWS és az ACAS segítségével elkerülhetők).

A repülési figyelmeztető/riasztó rendszerek esetén (lásd 6. ábra) általában 3 nagyobb részegységet tudunk megkülönböztetni a következők szerint:

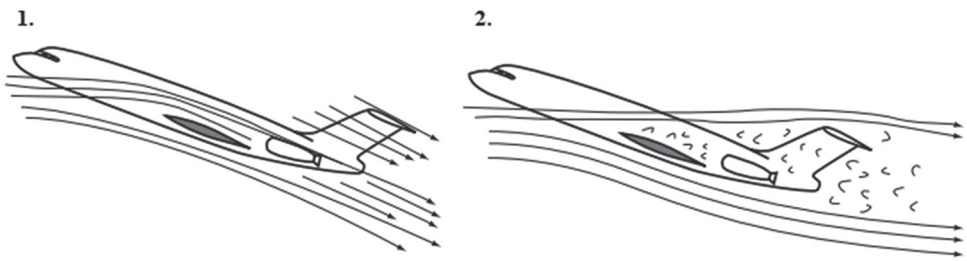
- bemenet (a rendszer bemenetére az információk a repülőgépek különböző részeiben elhelyezett szenzoroktól származik);
- kimenet (a rendszer kimenetén az eddigiekben felsorolt módok valamelyikével [például hangjelzés, fényjelzés] jelenik meg a figyelmeztetés, riasztás);
- feldolgozó egység (általában egy vagy kettő repülésfigyelmeztető számítógépből áll) [7], [8], [12].



6. ábra
Boeing 767 figyelmeztető és riasztó rendszere (Békési Bertold szerkesztése [7] alapján)

4. Átesés veszélyére figyelmeztető rendszer

Az átesés veszélyére figyelmeztető rendszer[12] célja figyelmeztetni a pilótát a repülőgép-átesés közeli állapotára (7. ábra). Repülésbiztonsági okokból kifolyólag az olyan, pusztán vizuális alapú átesésjelző eszközök használata, amelyek a személyzet további igénybevételét követelnék meg, nem megengedettek (például állásszögjelző).[13] Fontos, hogy az a sebesség, ahol az átesésjelző bekapcsol, legalább 5%-kal nagyobb annál, mint ahol az átesés ténylegesen megtörténik (CAS).[14] Az átesésjelző mindaddig üzemel, amíg a kialakult állásszög a rendszert bekapcsoló érték alá csökken. A repülőgép leszállópályán való tartózkodása során az átesésjelző rendszer inaktív [4], [7], [8], [12], [15], [27].



7. ábra
Repülőgép átesés előtt (1.) és átesés közben (2.) [15]

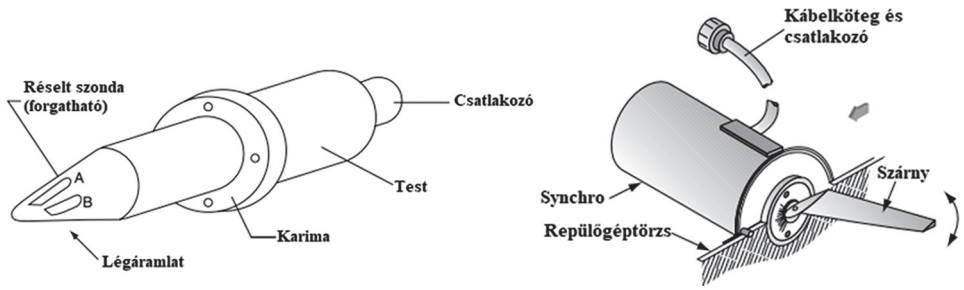
A modern repülőgépek tartalmaznak úgynevezett átesésvédelmi rendszert, amely megakadályozza a repülőgép átesését azzal, hogy annak sebességét (– átesési sebesség) felett tartja. Néhány légi jármű fel van szerelve továbbá egy átesésmegelőző rendszerrel *(Stall recovery),* amely kritikus helyzetben előrenyomja a kormányt *(Stick pusher).* Így a rendszer meggátolja azt, hogy a repülőgép fatális kimenetelű átesésbe zuhanjon.

Átesésjelzők csoportosításánál megkülönböztethetünk kisgépes, illetve nagygépes kategóriában használatos figyelmeztető rendszereket. Ilyennek számít a „*stick shaker*" (kormányoszlop-rázómotor), amelyet nagyobb utasszállítóknál építenek be. Ez egy olyan excentrikus motor a kormányhoz rögzítve, amely a szárnyról leváló áramlást hivatott imitálni (10–30 Hz megkülönböztető frekvencia segítségével). Természetesen a fentiekhez hasonlóan ezt a figyelmeztetési formát is általában egy hangjelzés és egy fényjelzés kíséri.

Az átesés veszélyére figyelmeztető rendszerek működéséhez olyan különféle érzékelőkre van szükség, amelyek releváns információkat képesek szolgáltatni a repülőgép helyzetéről (lásd 8. ábra). Ilyen például:

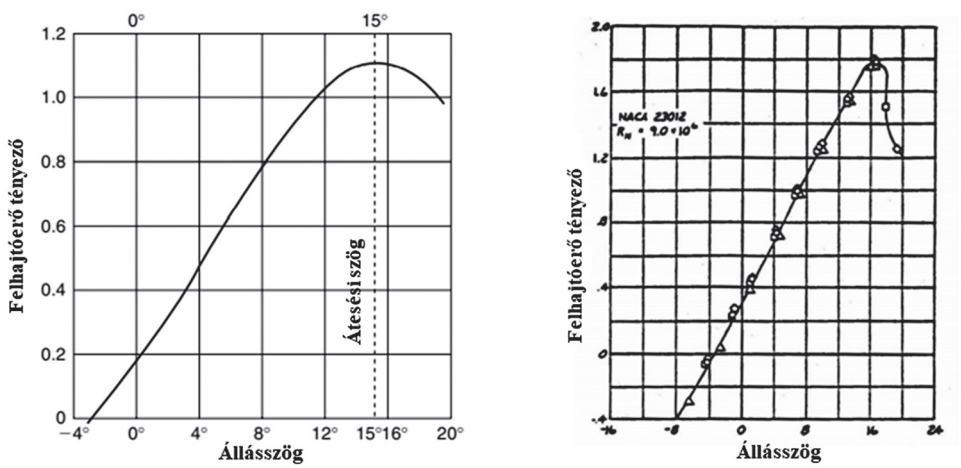
- reed szenzor;
- szárnyszenzor;
- nyomásérzékelő;
- állásszög-érzékelő vagy „α" szenzor.

[12] SWS – *Stall Warning System:* átesés veszélyére figyelmeztető rendszer.
[13] AoA – *Angle of Attack:* állásszögjelző.
[14] CAS – *Calibrated Air Speed:* levegőhöz viszonyított kalibrált sebesség.



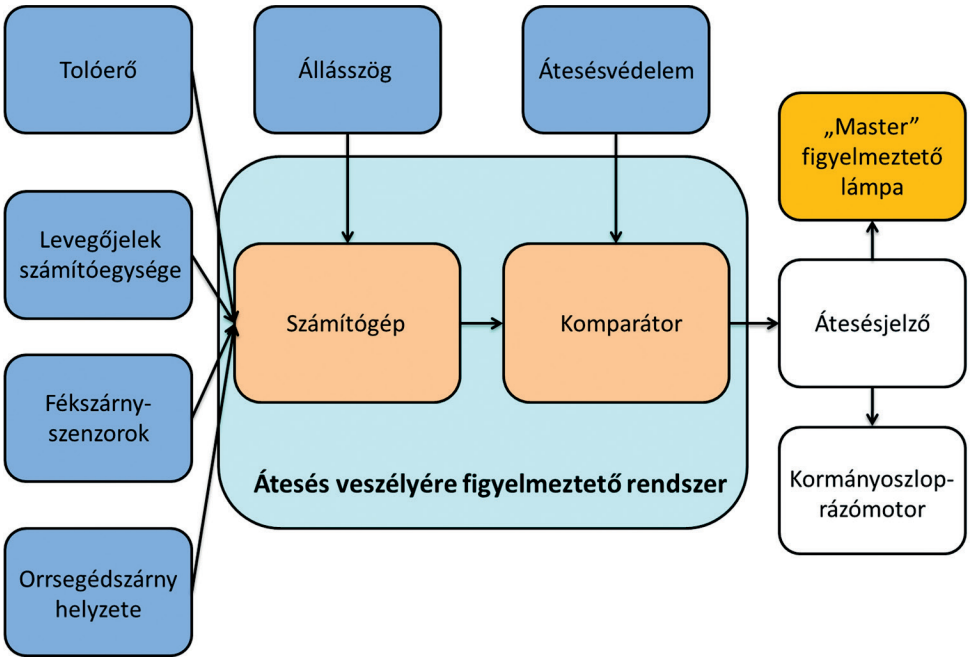
8. ábra
Nyomásérzékelő (balra) és az állásszög-érzékelő (jobbra) [15]

Az állásszög vagy más néven „α" szög a repülőgépszárny húrvonala és a relatív légáramlás iránya által bezárt szöget jelöli. A kritikus állásszöget a légi jármű lassuló repülésben éri el. Ilyenkor a sebesség csökkenése miatt csökken a felhajtóerő, amit a légijármű-vezető a szög növelésével képes kompenzálni. Ahogy az a 9. ábrán látható, a felhajtóerő-tényező a kritikus állásszög elérésekor kétféleképpen csökkenhet. A bal oldali ábrán az áramlás leválása fokozatosan következik be, a felhajtóerő csökkenése az állásszög változása függvényében viszonylag enyhébb. A másik esetben, többnyire a vékonyabb, kisebb belépőél sugarú profilok esetében a kritikus állásszög elérésekor a felhajtóerő hirtelen és jelentősen csökken [4], [7], [8], [12], [15], [27].



9. ábra
A repülőgépeknél bekövetkezhető átesés lehetséges változatai [Sári János szerkesztése [7], [15] alapján]

Az eddigiekből elmondható, hogy az átesésjelző modul a különféle bemenetekről érkező jeleket dolgozza fel, amit a kimeneten figyelmeztetések, riasztások formájában jelenít meg (10. ábra).



10. ábra
Az átesés veszélyére figyelmeztető rendszer elvi felépítése (Békési Bertold szerkesztése [7] alapján)

5. Határsebesség-túllépésre figyelmeztető rendszer[15]

A határsebesség-túllépésre figyelmeztető rendszer célja értesíteni a hajózó személyzetet arról (látható és hallható jelzések segítségével), ha a repülőgép túllépi a levegőjelek számítóegysége[16] által kiszámított V_{mo}[17] vagy M_{mo}[18] sebességeket.

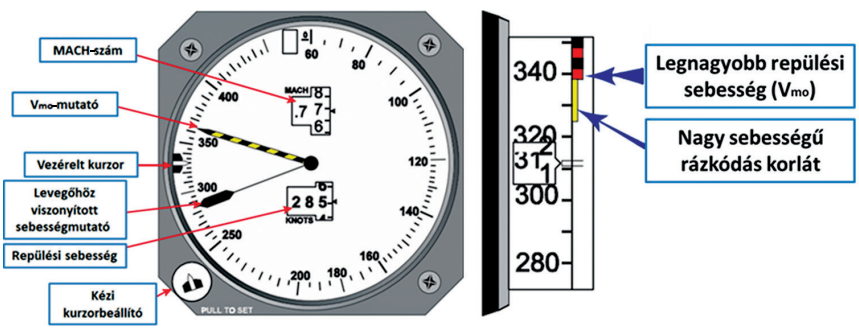
Határsebesség-túllépés esetén:

- a rendszer hangjelzéssel figyelmezteti a pilótákat (sziréna, kürt);
- a „*Master*" lámpajelzés bekapcsol;
- az EICAS-kijelzőn piros színnel megjelenik az „*Overspeed*" üzenet (11. ábra).

[15] OWS – *Overspeed Warning System:* határsebesség-túllépésre figyelmeztető rendszer.
[16] ADC – *Air Data Computer:* levegőjelek számítóegysége.
[17] *Maximum operating speed:* maximális működési sebesség vagy maximális üzemeltetési repülési sebesség.
[18] *Maximum operating machspeed:* maximális üzemeltetési Mach-szám.

11. ábra
„Overspeed" felirat az EICAS-kijelzőn [16]

A riasztás addig áll fenn, amíg a határsebesség-túllépési szituáció meg nem szűnik. Ebben az esetben a *„Master"* gomb lenyomásával a figyelmeztetés nem kapcsolható ki. A rendszer alapesetben az ADC kimeneti jeleiből vesz információt, de ez akár egy független szenzor segítségével is történhet, amely összeköttetésben áll a magassági és sebességi adatokat (lásd 12. ábra) szolgáltató szelencékkel [4], [7], [8].



12. ábra
Sebességjelző Vmo-mutatóval (Sári János szerkesztése [7] alapján)

6. Felszállási konfigurációs figyelmeztetés[19]

Manapság a nagy repülőterek sűrű forgalmában a felszállás előtti idő meglehetősen mozgalmas, így az ellenőrző lista kitöltése, valamint visszaellenőrzése könnyedén abbamaradhat, szélsőséges esetekben meg is feledkezhetnek róla. A felszállási konfiguráció figyelmeztető

[19] TOCW – *Take-off Configuration Warning:* felszállási konfigurációs figyelmeztetés.

vagy más néven helytelen (nem kész állapotra) konfigurációra figyelmeztető rendszer egy olyan biztonsági eszköz, amelynek feladata figyelmeztetni a hajózó személyzetet arról, ha a légi jármű konfigurációja nem felel meg az adott repülési fázisnak (lásd 13. ábra). Ilyenkor a rendszer hangjelzésekkel értesíti a pilótákat a veszély fennálltára (ez gyakorta duda vagy csengőszó alakjában érkezik).

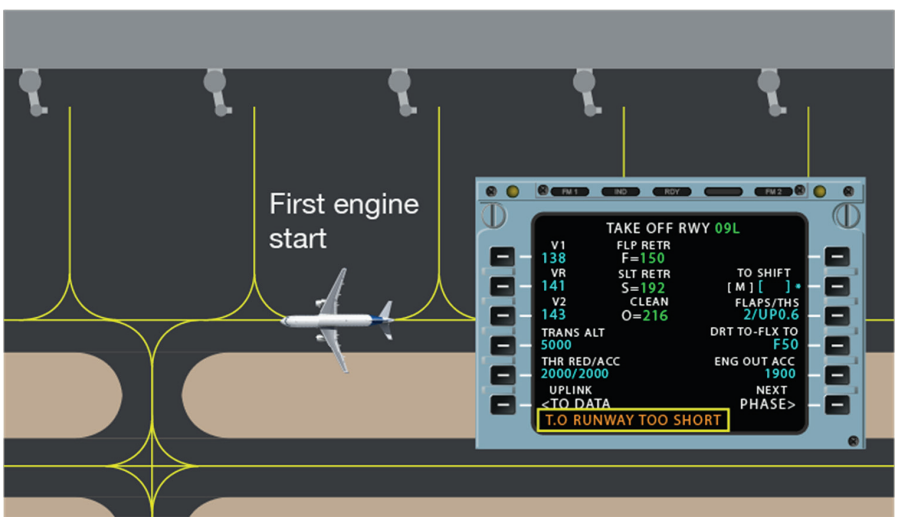
Riasztások a következő esetekben lehetségesek:

- a fékszárny a felszálló helyzetnél nagyobb mértékben van kitérítve;
- az orrsegédszárny nincs kitérítve;
- a vízszintes vezérsík trimm helyzet a felszálló tartományon kívül található;
- a parkoló fékek behúzva maradtak.

A hangjelzések megszűnnek, ha:

- a konfigurációkat úgy változtatják meg, hogy képesek legyenek biztosítani a biztonságos fel-, illetve leszállást;
- a légijármű-vezető megkezdi a felszállás megszakítását;
- a repülőgép a riasztások megkezdését követően sikeresen felszáll.

Fontos megjegyeznünk, hogy a legtöbb riasztás esetén csak a helyes konfiguráció beállítása jelentheti a megoldást, azonban előfordulnak olyan esetek, amikor a jelzés megszüntethető a jelzőbiztosíték eltávolításával [1], [4], [8].



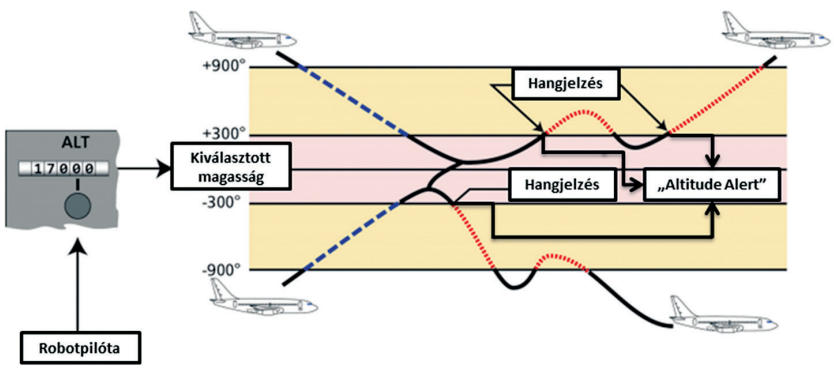
13. ábra
Felszállási konfigurációs figyelmeztetés [1]

7. Magasságfigyelmeztető rendszer[20]

A magasságfigyelmeztető rendszer (AAS) feladata tájékoztatni a légijármű-vezetőt arról az esetről, amikor a repülőgép eltér az előre beállított barometrikus magasságtól. Másképp megfogalmazva, a riasztórendszer értesíti a személyzetet arról, hogy a légi jármű közelít a robotpilóta paneljén kiválasztott magassági értékhez, vagy éppen távolodik attól. Fontos kiemelni, hogy a repülőgép típusától függően ezek a megadott magassági határértékek eltérőek lehetnek.

A kiválasztott felső határértékhez közelítve az elsődleges repülési adatokat kijelző képernyőn[21] (PFD) a magasságjelző körül egy fehér keret jelenik meg, amelyet leggyakrabban egy pillanatnyi hangjelzés kísér. A magasság csökkenésével, valamint az alsó határérték elérése előtt a figyelmeztetések megszűnnek.

Az alsó magassági értékhez közelítve a „*Master*" lámpajelzés felvillan, továbbá folyamatos figyelmeztető hangjelzés válik hallhatóvá. Mindezek mellett az EICAS-panelen megjelenik az „*Altitude Alert*" figyelmeztetés és a magasságjelző körül egy sárga/borostyán keret tűnik fel (lásd 14. ábra). A hangjelzés és a fényjelzés a „*Master*" gomb megnyomásával megszüntethető, azonban a figyelmeztetés csak akkor szűnik meg teljesen, ha a repülőgép újra a kiválasztott alsó magassági szint felett tartózkodik [7], [8], [12], [19].



14. ábra
Magasságra figyelmeztető rendszer működése (Sári János szerkesztése [7] alapján)

Az EASA[22] előírása szerint az alábbi repülőgép-típusokat kötelező magasságra figyelmeztető rendszerrel ellátni, felszerelni:

- légcsavaros gázturbinás hajtóművel[23] felszereltet (elsősorban olyanokat, amelyeknek a maximális felszálló tömege több mint 5700 kg, valamint ahol a szállítható utasok száma több mint 9 fő);
- gázturbinás sugárhajtóművel[24] felszereltet.

[20] AAS – *Altitude Alerting System:* magasságfigyelmeztető rendszer.
[21] PFD – *Primary Flight Display.*
[22] EASA – *European Union Aviation Safety Agency:* Európai Unió Repülésbiztonsági Ügynöksége.
[23] Turboprop engine.
[24] Turbojet engine.

8. Rádió-magasságmérő

A rádió-magasságmérő[25] a repülőgép tényleges földfelszín feletti magasságát mutatja. A rendszer egy transzmitter (távadó) egységen alapszik, amelyen belül adó és vevő antennát különböztethetünk meg. A transzmitter működése során úgynevezett centiméteres hullámhosszú[26] jeleket bocsát ki 4200–4400 MHz közötti tartományban. A magassági információk a pilótafülke kijelzőin közvetlenül jelennek meg, azonban az adatok feldolgozása a veszélyes földmegközelítést jelző rendszer (GPWS), valamint a levegőben történő ütközést megakadályozó rendszerek (ACAS, TCAS[27]) segítségével történik [4], [25], [30].

Korai eszközök a légi járművek magasságát a rádiójelek továbbítása és a visszavert jel vétele között eltelt idő alapján határozták meg. Ennek elve, hogy a repülőgépen lévő adó továbbítja a rádióhullámokat a Föld felszínére, és méri azt az időt, amely alatt visszaverődnek a repülőgépbe beépített vevőbe. A repülőgép földfelszínhez viszonyított tényleges magasságát a rádióhullámok utazási idejéből és a fénysebességből számítják ki [2], [17]. A technológia fejlődésének köszönhetően a modern kori rendszerek már képesek a fázisváltás figyelembevételére is, így nagyobb pontossággal (megközelítőleg 0,9 m)[28] képesek meghatározni a repülőgép függőleges helyzetét [4], [25], [30].

9. A veszélyes földmegközelítést jelző rendszer

Könnyedén belátható, hogy a veszélyes helyzetek felismeréséhez számos körülmény együttes vizsgálata szükséges. Ehhez olyan rendszerre van szükség, amely a pilóták tevékenységeitől független, tehát a különféle rendszerállapotok alapján képes következtetni a hajózó személyzet szándékaira, illetve a repülés fázisára.

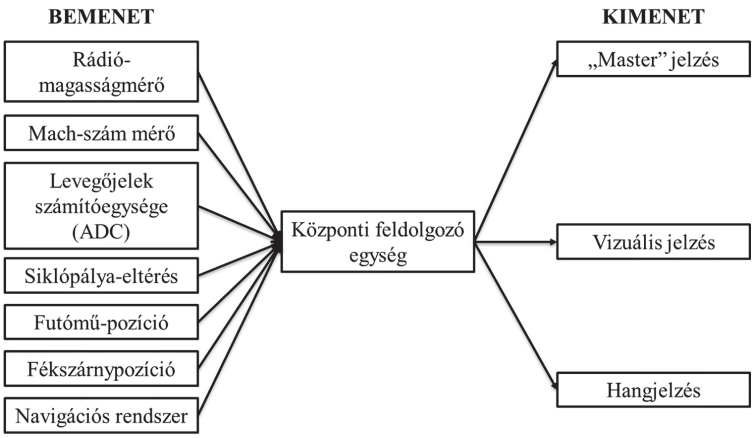
A veszélyes földmegközelítést jelző rendszer (15. ábra) feladata vizuális, illetve hallható riasztásokkal értesíteni a pilótákat a repülőgép és a terep kritikus távolságáról.[29] Alapvetően a GPWS 0-tól 746 m-ig (0-tól 2450 lábig) aktív, valamint 5 üzemmóddal rendelkezhet. (A szélnyírás figyelmeztetés, valamint a „minimumok" alá süllyedés üzemmód az 5 alapfunkciótól független ráadás, azonban a szélnyírás figyelmeztetés prioritással rendelkezik a többi felett) [3], [4], [6], [7], [8], [12], [23], [31].

Figyelmeztetések/riasztások típusai:

- „Genuine" (A berendezés figyelmeztetést küld a pilótának a műszaki specifikációknak megfelelően);
- „Nuisance" (A berendezés riasztást küld a pilótának a műszaki specifikációknak megfelelően, azonban a hajózó személyzet az elfogadott, biztonságos eljárás alapján folytatja a repülést);

[25] Radio altimeter.
[26] SHF – *Super High Frequency:* centiméteres hullámhossz.
[27] TCAS – *Traffic Alert Collision Avoidance System:* légi járművek veszélyes közeledését jelző fedélzeti rendszer.
[28] 3 láb (1 láb = 0,3048 m).
[29] A GPWS-berendezés működés közben folyamatosan figyeli a repülőgép földfelszín feletti magasságát a rádió-magasságmérő berendezés mért adatai alapján [17].

- „False" (A rendszer meghibásodása vagy hibája következtében a berendezés figyelmeztetést küld, ellenben ezek nincsenek benne a műszaki specifikációban) [12], [23].



15. ábra
A veszélyes földmegközelítést jelző rendszer elvi felépítése (Sári János szerkesztése [7] alapján)

A számítógép a beolvasott adatok alapján számításokat és előrejelzéseket végez a repülési útvonal tekintetében, majd vizuális és hangjelzést is küld a pilótának a lehetséges üzemmódok valamelyikéről [5], amelyeket az 1. táblázat tartalmaz:

1. táblázat
GPWS-üzemmódok (Sári János szerkesztése [7], [8], [23] alapján)

GPWS-üzemmód		Figyelmeztető üzenetek kategóriák szerint	
		„Alert"	„Warning"
1. Túlzott süllyedési ráta		„Sink Rate"	„Whoop Whoop Pull Up"
2. Túlzott földközelség		„Terrain Terrain"	„Whoop Whoop Pull Up"
3. Magasságvesztés felszállás után		„Don't Sink"	
4. Nem szándékos magasságvesztés	4A: Futó behúzott helyzetben	„TOO LOW GEAR"	„TOO LOW TERRAIN"
	4B: A fékszárny nincs leszállási konfigurációban	„TOO LOW FLAPS"	„TOO LOW TERRAIN"
5. Siklópálya alá süllyedés		„GLIDE SLOPE"	
6. „Minimumok" alá süllyedés	6A: A kiválasztott minimális rádiómagasság alatt	„Minimums"	
	6B: Magassági, illetve bedöntési szög „call-out"-ok	„BANK ANGLE"	
7. Szélnyírás-figyelmeztetés			„Windshear"

1. Üzemmód

Abban az esetben, ha a barometrikus süllyedés mértéke túl nagy, a rendszer figyelmeztetéseket küld a pilóták számára. A figyelmeztetések között megkülönböztetünk magasabb,

illetve alacsonyabb kategóriába eső jelzéseket. Alacsony kategóriás figyelmeztetések akkor keletkeznek, ha a süllyedés mértéke meghaladja az 5,08 m/s[30]-os értéket. Ilyenkor a riasztás 1,5 °s-os ismétléssel mesterséges beszédhang formájában történik „Sink Rate"[31] szöveggel, amelyet borostyánszínű „GPWS" fényjelzés kísér. Amennyiben nem történik semmilyen változás, korrekció a repülőgép bekerül a magasabb figyelmeztetési kategóriába. Ennek következtében a hangjelzés „Whoop Whoop Pull Up"[32]-ra, a GPWS-fényjelzés vörös színre módosul [3], [4], [7], [8], [12], [23].

2. Üzemmód

Ez az üzemmód a Mach-szám, a rádiómagasság, a barometrikus magasság és a repülőgép konfigurációjának változását figyeli. Abban az esetben aktiválódik, ha a repülőgép túlzott mértékben közelít a domborzat felé. Hasonlóan az előző üzemmódhoz, itt is két figyelmeztetési határt tudunk megkülönböztetni. Az első kategóriába történő behatolás esetén „Terrain Terrain",[33] magasabb kategória esetén „Whoop Whoop Pull Up" hangjelzés hallható 1,5 s-es ismétléssel. A sebesség a Mach-szám növekedésével az üzemmód alsó határa 518 m-ről (1700 láb) 746-ra változik [3], [4], [7], [8], [12], [23].

3. Üzemmód

A 3-as üzemmód felszállás vagy átstartolás utáni magasságvesztés esetén aktiválódik. Üzemelése közben a „Don't Sink"[34] hangjelzés halható 1,5 s-es ismétléssel, amelyet borostyán színű „GPWS" fényjelzés kísér. A figyelmeztetés mindaddig aktív, amíg a repülési állapotot nem korrigálták. Fontos megjegyezni, hogy az üzemmód 15 és 213 m (50 és 700 láb) közötti rádiómagasságon működik, és csak akkor aktív, ha a barometrikus magasságvesztés legalább 10%-át meghaladja a rádiómagasságnak [3], [4], [7], [8], [12], [23].

4. Üzemmód

Akkor aktiválódik, ha a légi jármű rádiómagassága 304,8 m (1000 láb) alá süllyed. Alapvetően három almódja létezik:

- 4A: Ilyen esetben a futómű, a magasságvesztés közben behúzott helyzetben található. A figyelmeztetés a „Too Low Gear"[35] hangüzenet formájában jelentkezik, borostyán színű „GPWS" fényjelzés kíséretében. A jelzés felső határa a sebesség növekedésével 152,4 m-re (500 lábra) csökken.

[30] 1000 foot/min (1 foot/min = 0,00508 m/s).
[31] Süllyedési sebesség, süllyedés mértéke.
[32] Húzd fel a gép orrát!
[33] Terep, földfelszín.
[34] Ne süllyedj!
[35] Bocsásd ki a futóművet!

- 4B: Ez az almód akkor aktiválódik, ha a futómű kinti helyzetben van, de a fékszárny nincs leszálló konfigurációban. Ilyenkor a „Too Low Flaps"[36] figyelmeztető hangjelzés hallható, amelyet sárga színű „GPWS" fényjelzés kísér. 4B almód esetén a jelzés felső határa az eddigieknél is alacsonyabbra 76,2 m-re (250 lábra) csökken.

Fontos kihangsúlyozni, hogy minden esetben a „Too Low Gear" figyelmeztetés/riasztás prioritást élvez a „Too Low Flaps" jelzéssel szemben [3], [4], [7], [8], [12], [23].

5. Üzemmód

Ez az üzemmód figyelmezteti a hajózó személyzetet, hogy az ILS[37] siklópálya alatt több mint 1,3 pontot süllyedt. Az eltérés mértékétől függően megkülönböztetünk gyenge (1,3–2 pontnyi eltérés), illetve erős (> 2 pontnyi eltérés) riasztásokat. Gyenge riasztás esetén „Glide Slope"[38] hangjelzés halható, illetve sárga „Below G/S"[39] fényjelzés látható. Erős riasztás esetén a „Glide Slope Glide Slope" üzenet aktiválódik. Mindkét riasztásnál a hangjelzések ismétlődésének gyakorisága a siklópályától való eltérés növekedésével, valamint a rádiómagasság csökkenésével párhuzamosan fokozódik [3], [4], [7], [8], [12], [23].

6. Üzemmód

Hasonlóan a 4-es üzemmódhoz itt is két almódot tudunk megkülönböztetni:

- 6A: Amikor a repülőgép lesüllyed a minimális süllyedési magasság alá, akkor a GPWS rendszer hallható „MINIMUMS[40]" jelzést ad. Ez az üzemmód 15 és 304,8 m (50 és 1000 láb) között aktiválódik. Az üzemmód újraélesedik abban az esetben is, ha a rádiómagasság nagyobb lesz, mint a magassági kurzor által kijelölt érték.
- 6B: A „Bank Angle"[41] hangjelzés figyelmezteti a pilótákat a repülőgép túlzott dőlésszögéről. A különféle dőlésszögértékek általában a légitársaságok által meghatározott korlátozások, a különféle balesetek megakadályozása végett.

7. Üzemmód

Vizuális, illetve hangjelzéseket generál, ha a bemeneti jelek közül (sebesség, földhöz viszonyított sebesség, barometrikus magasság, süllyedés mértéke és rádiómagasság) egy vagy több jelzi a szélnyírás kialakulásának feltételeit. Fontos, hogy ez az üzemmód nem összekeverendő az időjárásradarral, aminek segítségével a GPWS képes előre jelezni a lehetséges szélnyírást [3], [4], [7], [8], [12], [23].

[36] Bocsásd ki a fékszárnyat!
[37] ILS – *Instrument Landing System:* műszeres leszállító rendszer.
[38] Siklópálya.
[39] Siklópálya alatt.
[40] Minimális, legkisebb.
[41] Dőlésszög.

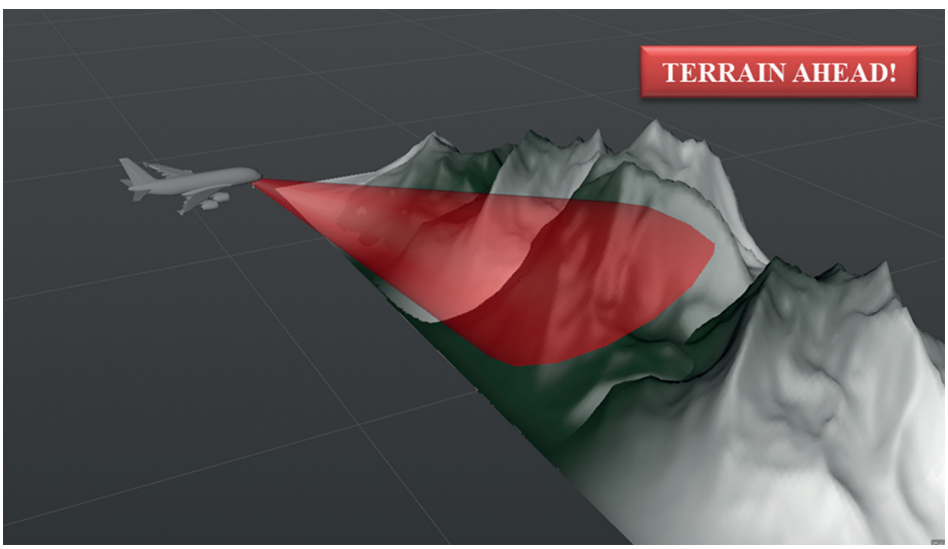
10. Továbbfejlesztett veszélyes földmegközelítést jelző rendszer[42]

Az idő elteltével, valamint a repülőgépek utasszállító képességének növekedésével párhuzamosan egyre számottevőbb problémát jelentett, hogy önmagában a GPWS nem képes bizonyos terepviszonyok közelségéből eredő veszélyek „előrelátó" felismerésére. Ilyen esetnek számít, amikor a repülőgép egy magas szikla felé halad, amely során annak meredeksége fogja meghatározni a figyelmeztető jel generálásának idejét.

Az előbb felsorolt problémák megoldásaként született meg a Terrain Awareness and Warning System[43] (TAWS), vagy más néven EGPWS- *(Enhanced Ground Proximity Warning System)* rendszer, amelyet 1996-ban vezettek be [5], amely képes az adott légi jármű előtti domborzatot vizsgálni, köszönhetően a műholdas helymeghatározó rendszernek[44] (GPS), valamint a földfelszíni digitális térképnek. Természetesen az EGPWS mindazokat az üzemmódokat megvalósítja, amelyeket a GPWS tudott (barometrikus magasságmérés, föld feletti sebességmérés, repülési pályafigyelés és bedöntési szögérzékelés). A modern technológia elemeit is alkalmazó rendszer segítségével, felhasználásával (a megjelenését követő évek során) jelentősen csökkent a különféle téves riasztások gyakorisága.

Az EGPWS-nek (16. ábra), ami leegyszerűsítve egy előre néző földközelség-figyelő, 3 részegységét különböztethetjük meg:

- terepveszély-kijelző *(Terrain Threat Display);*
- figyelmeztetőüzenet-jelző („Caution Terrain" vagy „Terrain Ahead");
- akadálymentesség-figyelő [3], [4], [7], [8], [10], [15], [29].



16. ábra
EGPWS bemutatása 3 dimenziós modell segítségével [Sári János szerkesztése]

[42] EGPWS – *Enhanced Ground Proximity Warning System:* továbbfejlesztett veszélyes földmegközelítést jelző rendszer.
[43] Földközelségjelző rendszer.
[44] GPS – *Global Positioning System:* műholdas helymeghatározó rendszer.

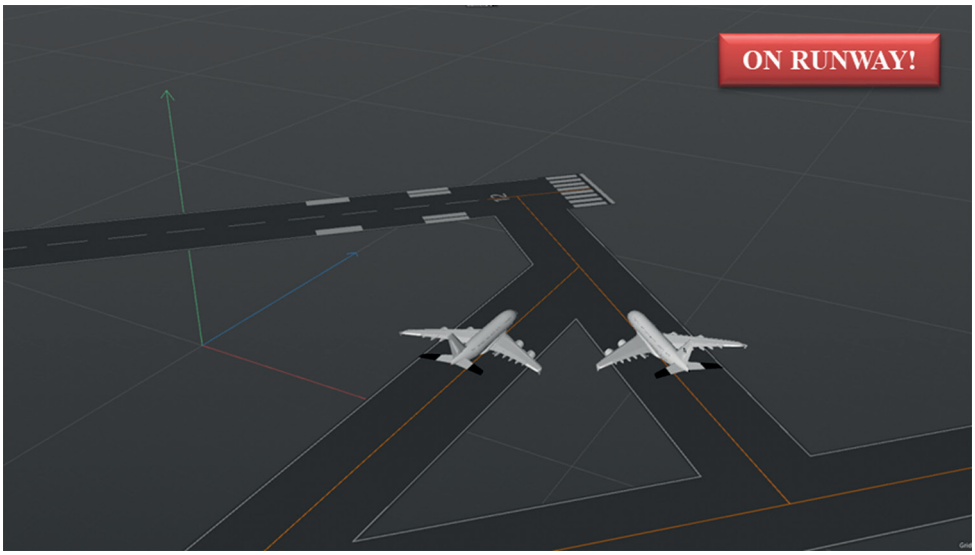
11. Le- és felszállópálya-tanácsadó rendszer[45]

A RAAS egy olyan tanácsadói rendszer (17. ábra), amely az EGPWS adatbázisában tárolt repülőtéri adatok, valamint a GPS használatával segíti a hajózó személyzet földi tájékozódását a repülőtér bizonyos területein (például le- és felszállópálya,[46] gurulóút[47]). Adott sebesség átlépése esetén (40°kts ≈ 74 km/h) a rendszer figyelmeztető üzenetet küld a személyzet számára, amely lehet „On Taxiway, On Taxiway" vagy „Taxiway Take-Off",[48] az EGPWS rendszereinek mérésétől függően [4], [26].

A figyelmeztetések/riasztások az alábbiak szerint csoportosíthatók:

- „*Routine Advisories*" (azok az értesítések, amelyeket a pilóták a rutinszerű műveletek során érzékelhetnek):
  - „*Approaching Runway*" (a földön segíti a hajózó személyzetet a gurulóút széleinek elkerülésében, levegőben tartózkodva pedig a le- és felszállópálya megközelítésében);
  - „*On Runway*" (tájékoztatja a légijármű-vezetőket a repülőgép le- és felszállópályára való sorolásáról);
  - „*Distance Remaining*" (feladata a hajózó személyzet tájékoztatása a felszálláshoz még rendelkezésre álló kifutópálya hosszáról);
  - „*Runway End*" (célja rossz látási viszonyok között figyelmeztetni a légijármű-vezetőket a le- és felszállópálya végének és a repülőgép helyzetének kritikus közelségére);
- „*Non-Routine Advisories/Cautions*" (azok az értesítések, riasztások, amelyeket a hajózó személyzet ritkán vagy soha nem fog érzékelni):
  - „*Approaching Short Runway*" (a légi járművek leszállásakor tájékoztatja a hajózó személyzetet a rendelkezésre álló le- és felszállópálya hosszának megfelelőségéről);
  - „*Insufficient Runway Length*" (abban az esetben értesíti a légijármű-vezetőt, ha a felszálláshoz rendelkezésre álló le- és felszállópálya hossza kisebb, mint a meghatározott minimális felszállópálya-hossz);
  - „*Extended Holding on Runway*" (felszállásnál figyelmezteti a hajózó személyzetet a le- és felszállópálya hosszabb ideig történő szükségszerű használatára);
  - „*Taxiway Take-Off*" (értesíti a légijármű-vezetőt a megnövekedett gurulási sebességről, illetve a gurulóutakról történő felszállási kísérletről);
  - „*Distance Remaining*" (megszakított felszállás esetén tájékoztatja a hajózó személyzetet a fennmaradó le- és felszállópálya hosszáról);
  - „*Taxiway Landing*" (leszállás esetén figyelmezteti a légijármű-vezetőt, ha a légi jármű nem a leszállópálya irányát vette fel) [26].

[45] RAAS – *Runway Awareness and Advisory System:* le- és felszállópálya-tanácsadó rendszer.
[46] *Runway.*
[47] *Taxiway.*
[48] Felszállás.



17. ábra
RAAS alkalmazhatósága a gyakorlatban [Sári János szerkesztése]

12. Fedélzeti összeütközés-elkerülő rendszer

A légi járművek diverzitásából eredeztethető sebességkülönbségek, valamint a repülőgépek térhódításának köszönhető légiforgalom-növekedés, olyan rendszer kivitelezését sürgette, amely képes e repülőeszközök biztonságos távolságokban való elkülönítésére. Ennek eredményeként jött létre (ICAO[49]-terminológiában használatos) a fedélzeti összeütközés-elkerülő rendszer (ACAS). A légi járművek veszélyes közeledését jelző fedélzeti rendszer (TCAS) elnevezést, amit kezdetben csak az Egyesült Államok gyártói használtak, mára már széles körben elfogadott alternatívaként tartják számon [4], [7], [12].

A repülőgép fedélzetén található ACAS-rendszer működése a másodlagos (*Secondary Surveillance Radar* – SSR) transzponder (válaszjeladó) (MODE „A"[50], „C"[51], „S"[52]) által kibocsátott jeleken alapul (lásd 18. ábra). A rendszer működése független bármilyen földi berendezéstől, robotpilótától, valamint fedélzeti navigációs berendezéstől. Feladata, hogy a légi jármű vezetőjének tanácsot adjon egy, a számára potenciálisan konfliktust jelentő, szintén transzponderrel felszerelt légi jármű elkerüléséhez. A nemzetközi repülési szervezet ajánlása

[49] ICAO – *International Civil Aviation Organization:* Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet.
[50] MODE „A" transzponder: Nem képes a repülőgép magassági információinak meghatározására, csak és kizárólag *„Traffic Advisory"* jelek leadását képes biztosítani (2 dimenzió) [2], [4], [7].
[51] MODE „C" transzponder: Az ilyen típusú transzponderrel felszerelt légi járművek magassági információkat sugároznak, amely segítségével a rendszer egyaránt képes *„Traffic Advisory"*, valamint *„Resolution Advisory"* típusú jelek leadására (3 dimenzió) [2], [4], [7].
[52] MODE „S" transzponder: A MODE „C" transzponder által nyújtott információk segítségével a MODE „S" a repülőgépek közötti szükséges adatkapcsolatot hozza létre [2], [4], [7].

alapján minden 5700 kg maximális felszálló súlyt meghaladó, 19 fő férőhely kapacitású légi járművet fel kell szerelni ACAS II[53]-berendezéssel [5].

Jelenleg három különböző ACAS-szabványt különböztethetünk meg az ICAO Annex 10-es fejezete alapján:

- ACAS I;
- ACAS II;
- ACAS III.

ACAS I

A szabványnak azok az első generációs ütközést megakadályozó rendszerek felelnek meg, amelyek a „*Traffic Advisory*" (TA)[54] kijelzőn keresztül figyelmeztetik a pilótákat a lehetséges veszélyes légi forgalomról (közeledő légi jármű helyzetét jelzi), azonban nem ad tanácsot a forgalom elkerülésére, de azonnali cselekvésre ösztönözi a légi jármű vezetőjét a közeledő forgalom vizuális felderítése és elkerülése érdekében [4], [5], [7], [8], [12], [18].

ACAS II

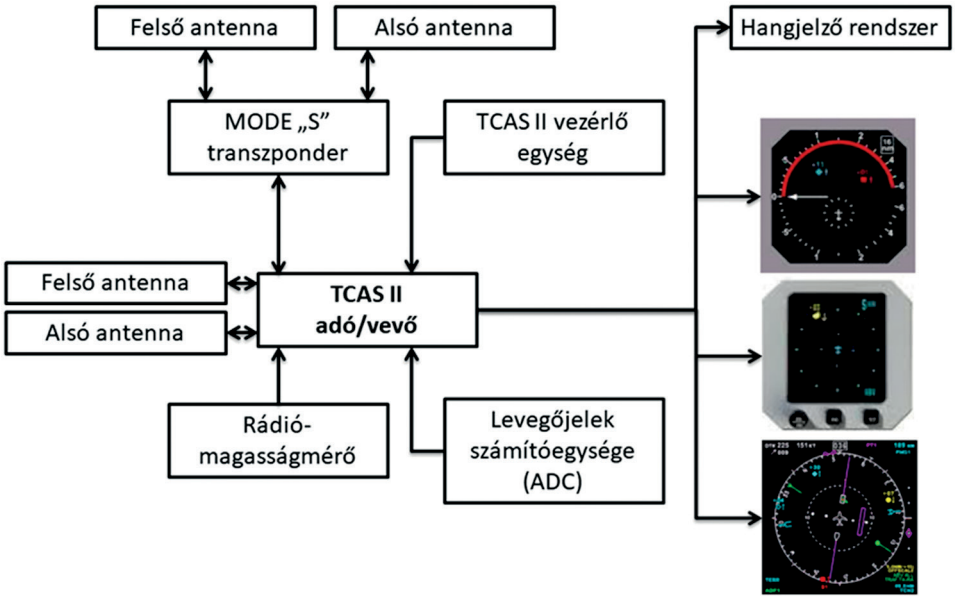
Az ilyen típusú rendszer felméri az ütközés kockázatát, amiről értesítést küld a hajózó személyzet számára a „*Traffic Advisory*" kijelző segítségével, továbbá tanácsot ad a forgalom elkerülésére a „*Resolution Advisory*"-nak (RA).[55] A tanácsadás függőleges irányú manőverek, illetve az azokra vonatkozó korlátozások (tartsa-e vagy növelje az emelkedés, süllyedés mértékét) formájában valósul meg. A berendezés horizontális elkerülő manőver végrehajtására nem ad javaslatot [5].

Az ACAS II függetlenül működik a repülőgép navigációs, repüléskoordináló és -optimalizáló, valamint a légi forgalmi irányító (ATC) földi rendszereitől [18].

ACAS III

A jelenleg is fejlesztés alatt álló szabvány korlátait a hagyományos megfigyelő rendszerek horizontális követési képessége és ennek következtében a repülőgépek vízszintes elkerülése jelenti. A problémák megoldását követően az ACAS III típusú rendszerek képesek lennének függőleges és/vagy vízszintes irányban TA-, valamint RA-jelek leadására [4], [7], [8], [12], [18].

[53] ACAS II – *Airborne Collision Avoidance System II:* második generációs fedélzeti összeütközés-elkerülő rendszer.
[54] TA – *Traffic Advisory:* légiforgalmi tanácsadás.
[55] RA – *Resolution Advisory:* elhatározási tanácsadás.



18. ábra
TCAS rendszer elvi felépítése (Sári János szerkesztése[11] alapján)

A TCAS rendszer mindamellett, hogy nagyszámú repülőgép megfigyelésére alkalmas, egyszerre több probléma megoldásának kidolgozására is képes. A rendszer alapjai a legközelebbi megközelítési pont, CPA *(Closest Point of Approach)*[56] meghatározásán, behatárolásán alapul. A CPA-pont meghatározására az alábbi módszerek a legelterjedtebbek:

- R & B *(Range and Bearing)*[57] vonalakkal történő számítás;
- A sebességvektorok hosszának beállítása, majd az R & B vonalak segítségével annak közvetlen mérése;
- TCT *(Tactical Controller Tool)*[58] vagy MTCD *(Medium Term Conflict Detection)*[59] használata [20], [24], [28].

Traffic Advisory (TA)

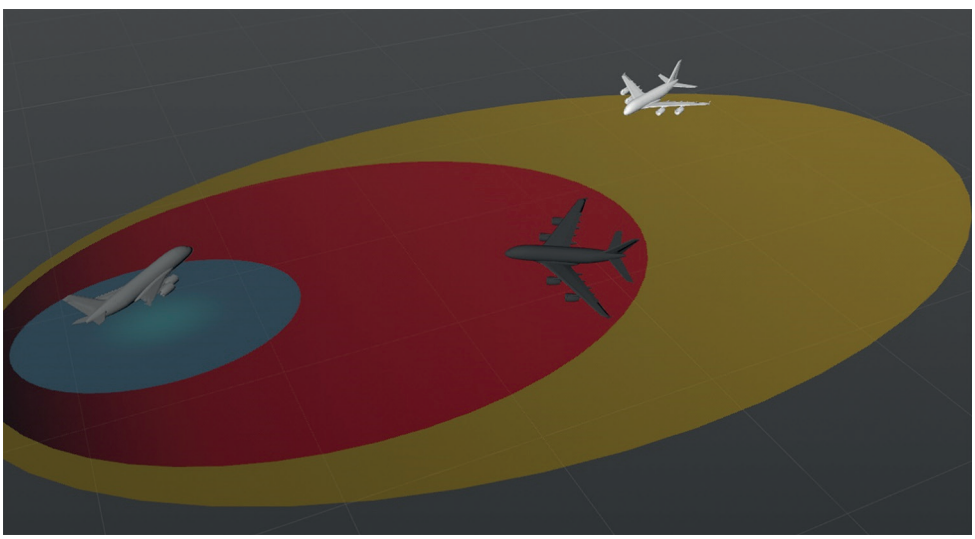
Akkor keletkezik, ha egy repülőgép 35–45 másodpercnyi távolságon belülre kerül egy másik légi jármű ütközési zónájának határához képest. Figyelmeztetésként a TCAS kijelzőjén sárga,

[56] CPA – *Closest Point of Approach:* legközelebbi megközelítési pont. CPA-tartományon a repülőgépek közötti legkisebb távolságot értjük. A CPA-idő az esemény bekövetkezését jelöli.
[57] Hatótávolság és irányszög.
[58] Taktikai vezérlő eszköz.
[59] Középtávú konfliktusfelderítés. Az MTCD egy repülési adatfeldolgozó rendszer, amelyet arra terveztek, hogy figyelmeztesse az irányítót a felelősségi körzetében lévő járatok közötti esetleges konfliktusra egy olyan időhorizontban, amely akár 20 perccel is előrébb tarthat [18].

kör alakú szimbólumok jelennek meg (19. ábra), adatdobozzal és a függőleges sebességéhez köthető nyíllal. Továbbá a kijelzőn megjelenő „Traffic" felirattal párhuzamosan „Traffic Traffic" riasztás válik hallhatóvá. Annak ellenére, hogy a rendszer csak felhívja a figyelmet a közeli forgalomra, potenciális fenyegetést jelez a légijármű-vezetők számára [4], [7], [8], [12], [18].

Resolution Advisory (RA)

Akkor generálódik, ha a repülőgép 15-35 másodpercnyi távolságon belülre kerül egy másik légi jármű ütközési zónájának határához képest. RA esetén piros téglalapok jelennek meg a TCAS-kijelzőn (lásd 19. ábra), különféle mesterséges beszédhangok kíséretében ("Climb" "Increase Climb" "Descend" "Increase Descent" "Monitor Vertical Speed" "Decrease Climb" "Decrease Descent"). A fentiekben említett rendszer által kiadott elkerülő manővereknek két típusát különböztethetjük meg; Preventív, illetve Kollektív RA. A manőverparancsok a MODE „S" transzponder/datalink segítségével valósulnak meg, amely során a rendszer a biztonságos függőleges elkülönítés megtartására törekszik [4], [7], [8], [12], [18].



19. ábra
Vészjelzési szintek szemléltetése, sárga: forgalmi tanácsadás, piros: elhatározási tanácsadás, kék: ütközési [Sári János szerkesztése]

13. Befejező gondolatok

Az elmúlt években az automatizálás nagyfokú elterjedésével, valamint annak különféle eszközökben való integrációjával párhuzamosan a légi közlekedés is rohamos fejlődésnek indult. Az emberi tényező a légi járművek irányításában, koordinálásában az előbb említett folyamatnak köszönhetően egyre kisebb befolyással rendelkezik. Véleményünk szerint ez a változás

elkerülhetetlen, ugyanis a mai felgyorsult világban az egyre növekvő igények napról napra magasabb elvárásokat támasztanak a biztonság megőrzése érdekében.

Hivatkozások

[1] Airbus, *Takeoff Surveillance & Monitoring Functions.* Online: https://safetyfirst.airbus.com/takeoff-surveillance-and-monitoring-functions/

[2] Békési B., Kubovics B., „Robotrepülőgépeken alkalmazott magasságmérési elvek és eszközök," in *XI. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia,* Mesterházy Beáta szerk., Szombathely, Nyugat-magyarországi Egyetem Savaria Egyetemi Központ, 2012. 111–118.

[3] Beneda K., Gáti B., Hámori Gy. et al., *Repülőgépek Rendszerei és Avionika.* Typotex, 2012. 110–119. Online: https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/00/59/48/dd/1/Gati_etal_Repulogepek_rendszerei.pdf

[4] Boeing Services Deutschland GmbH, *EASA ATPL Training Instrumentation.* Jeppesen Sanderson Inc., Germany, 2016. 234–262.

[5] Palik M. szerk., *A repülésirányítás alapjai.* Budapest, Dialóg Campus, 2018.

[6] Bureau of Air Safety Investigation, *The Operation of Ground Proximity Warning Systems (GPWS), A Review of Warnings April–December 1994.* Online: www.atsb.gov.au/media/27543/gpws.pdf

[7] CAE Oxford Aviation Academy, *Instrumentation ATPL Ground Training Series.* Singapore, KHL Printing Co. Pte Ltd., 2014. 431–513.

[8] Ferenczi István, Ferenczi Ildikó, Szilágyi D., *Légi Járművek Fedélzeti Rendszerei.* Nyíregyházi Egyetem, 2008. Online: http://zeus.nyf.hu/~elat/legi_jarmuvek.pdf

[9] Flight Mechanic, *Electronic Flight Information Systems.* Online: www.flight-mechanic.com/electronic-flight-information-systems/?fbclid=IwAR2GRdrAXDm9S7htG9yMM7B-k4a8wacWg2SLaqSj8zQRRI00v0tCS83ezUE0

[10] HavKar, *Extended Ground Proximity Warning System – EGPWS.* Online: http://havkar.com/en/blog/view/extended-ground-proximity-warning-system-egpws/125

[11] Mediawiki, IVAO – International Virtual Aviation Organisation, *TCAS.* Online: https://mediawiki.ivao.aero/index.php?title=File:TCAS_views.png

[12] Jeppesen GmbH, *Joint Aviation Authorities Airline Transport Pilot's Licence.* Theoretical Knowledge Manual, Aircraft General Knowledge 4, 022 Instrumentation, Second Edition, First Impression, Frankfurt, Germany, 2001, Chapter 21.

[13] J. Lockwood, *X-Plane11 Boeing 737-800. Pilot's Operating Manual.* Laminar Research, 2018. Online: https://autodocbox.com/Electric_Vehicle/117249080-X-plane-11-boeing.html

[14] KLM UK Engineering, *Engine Indicating + Crew Alerting System.* Online: https://klmukiaa.com/mod/page/view.php?id=3973

[15] M. Tooley, D. Wyatt, *Aircraft Electrical and Electronic Systems Principles. Operation and Maintenance.* Burlington, Elsevier, 2009, 265–283, 299–321.

[16] Quizlet, *Warning Systems.* Online: https://quizlet.com/176076017/warning-systems-flash-cards/

[17] OW, *Radar magasságmérő – Radar altimeter.* Online: https://hu.qaz.wiki/wiki/Radar_altimeter

[18] SKYbrary, *Airborne Collision Avoidance System (ACAS).* Online: www.skybrary.aero/index.php/Airborne_Collision_Avoidance_System_(ACAS)
[19] SKYbrary, *Altitude Alerter.* Online: www.skybrary.aero/index.php/Altitude_Alerter
[20] SKYbrary, *Closest Point of Approach (CPA).* Online: www.skybrary.aero/index.php/Closest_Point_of_Approach_(CPA)
[21] SKYbrary, *Electronic Centralized Aircraft Monitor (ECAM).* Online: www.skybrary.aero/index.php/Electronic_Centralized_Aircraft_Monitor_(ECAM)
[22] SKYbrary, *Engine Indicating and Crew Alerting System (EICAS).* Online: www.skybrary.aero/index.php/Engine_Indicating_and_Crew_Alerting_System_(EICAS)
[23] SKYbrary, *GPWS – A Guide for Controllers.* Online: www.skybrary.aero/index.php/GPWS_-_A_Guide_for_Controllers
[24] SKYbrary, *Medium Term Conflict Detection (MTCD).* Online: www.skybrary.aero/index.php/Medium_Term_Conflict_Detection_(MTCD)
[25] Skybrary, *Radio Altimeter.* Online: www.skybrary.aero/index.php/
[26] SKYbrary, *Runway Awareness and Advisory System (RAAS).* Online: www.skybrary.aero/index.php/Runway_Awareness_and_Advisory_System_(RAAS)
[27] SKYbrary, *Stall Warning Systems.* Online: www.skybrary.aero/index.php/Stall_Warning_Systems
[28] SKYbrary, *Tactical Controller Tool (TCT).* Online: www.skybrary.aero/index.php/Tactical_Controller_Tool_(TCT)
[29] SKYbrary, *Terrain Avoidance and Warning System (TAWS).* Online: www.skybrary.aero/index.php/Terrain_Avoidance_and_Warning_System_(TAWS)
[30] Skybrary, *Use of Radio Altimeter.* Online: www.skybrary.aero/index.php/Use_of_Radio_Altimeter
[31] Universal Avionics Systems Corporation, *Terrain Awareness and Warning Systems.* Online: www.uasc.com/docs/default-source/documents/brochures/uasc_taws_brochure.pdf?sfvrsn=2

Aircraft's Proximity and Warning Systems

In this article, the authors describe their research activities related to aircraft's proximity and warning systems. After a short introduction the authors expound the various warnings and their level connected to the topic, and the Master Warning / Caution lamp, the Engine Indicating & Crew Alerting System and the Electronic Centralised Aircraft Monitoring system will be described. Our goal is not only to provide a comprehensive, easy-to-understand summary, but also to present in detail the warning systems that can be found in modern aviation. For this reason, we will show the operation, structure, sound and visual signals of the Stall Warning, Overspeed Warning, Altitude Alerting, Traffic Alert Collision Avoidance System, Runway Awareness and Advisory System.

Keywords: *Flight Warning System, Stall Warning System, Overspeed Warning System, Altitude Alerting System, Traffic Alert Collision Avoidance System, Runway Awareness and Advisory System.*

Dr. Békési Bertold alezredes, egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék bekesi.bertold@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-5709-789X	Bertold Békési, PhD Lieutenant Colonel, Associate Professor University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems bekesi.bertold@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-5709-789X
Sári János BSc-hallgató Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék sari.janos1999@gmail.com orcid.org/0000-0001-8861-3300	János Sári BSc student University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems sari.janos1999@gmail.com orcid.org/0000-0001-8861-3300

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
33. évfolyam (2021) 1. szám 123–135. • DOI: 10.32560/rk.2021.1.10

Gábor Armand Dávid, Sziroczák Dávid

Nagynyomású földgáz mint tüzelőanyag a forgószárnyas repülőgépek világában

A mai világban a társadalom szemlélet- és értékrendváltozása miatt egyre inkább előtérbe kerül a környezetvédelem és a fenntarthatóság a repülés területén is. Ennek egyik lehetősége a CNG hajtásrendszer fejlesztése. A CNG egy olyan metán-etán elegy, amellyel elérhető 15%-kal kevesebb CO_x, 80%-kal kevesebb NO_x és 90%-kal kevesebb HC-kibocsátás és korommentesség. A munkánkban forgószárnyas repülőgépeket vizsgáltam meg, CNG-s hajtásút a benzines esettel szemben. Átépítés esetén az egyik legfőbb szempont, a hatásfok mellett az elérhető maximális hatótávolság alakulása. Forgószárnyas esetben akár a jelenlegi hatótávolság 70%-át is elérheti, 5 kg tömegnövekedéssel, a jelenlegi maximális felszállótömeget 64%-on tartva. Az átépítés költsége közúti közlekedésből vett példa alapján, a karbantartási költségek közel állandósága mellett a kisebb forgószárnyas gépek esetében a megtérülés nagyságrendileg 5400 km-re tehető. A CNG-hajtású kis méretű helikopterek esetében az oktatás és a rövid távú repülés válhat úttörővé a városi közlekedésben.

Kulcsszavak: *forgószárnyas repülőgép, CNG, károsanyag-kibocsátás*

1. Bevezetés

Jelen világunk egyik legfontosabb kérdése, a károsanyag-kibocsátás mérséklése, illetve a „zöldenergia" felhasználása. Ezt az igényt a társadalom fogalmazza meg, a napjainkban átrendeződő szemléletmód és értékrend szerint; a környezettudatosság és fenntarthatóság egyre jelentősebb faktor az emberek életében. Ennek hatására a törvényhozók, nemzeti és nemzetközi szervezetek, valamint az illetékes hatóságok egyre szigorúbb előírásokat fogalmaznak meg. Európa igen ambiciózus feladatnak kitűzte a NO_x-kibocsátás 90%-kal, valamint a CO_2-kibocsátás 75%-kal való csökkentését [8, 28], [2].

Más nemzeti, nemzetközi és professzionális szervezetek is hasonló igényeket fogalmaznak meg, a legismertebbek az IATA, ICAO és NASA által közzétett célok [13, 8], [14], [17].

A CNG-hez kapcsolódó professzionális szervezetek részéről a 2017-es CNG & LNG Konferencián megfogalmaztak egy olyan európai uniós célt, amely szerint 2030-ra 30%-kal kellene csökkenteni az üvegházhatású gázok kibocsátását [7]. A jelen repülőgép-hajtástechnológia ezeket az ambiciózus célokat tisztán inkrementális fejlesztéssel úgy tűnik, nem tudja elérni, gyökeres változásra van szükség, technológiai és/vagy felhasználói oldalról [14].

Technológiai oldalról napjainkban az elektromos és hibrid repülés abszolút fókuszterület, e mellett a diszruptív technológiák és alternatív, fenntartható hajtóanyagok vizsgálata kerül előtérbe. A felhasználás részről, a repülőeszközök feladatainak (*Concept of Operations* – CONOPS) újragondolása lehet a kulcs úgy, hogy a maihoz képest csökkentett sebességgel vagy hatótávval lehessen üzemeltetni a repülőeszközöket. Lehet, nem elvetni kell az ötletet, hanem azt a megoldást megkeresni, ami működőképes. Tipikusan ilyen lehetőségek az oktatás, regionális, nemzeti szintű közlekedés vagy a kialakuló városi légi közlekedés (UAM).

Az alternatív tüzelőanyagok közül a CNG a hidrogén mellett a legnagyobb potenciállal rendelkező megoldás lehet. A hidrogén régóta foglalkoztatja a kutatókat, napjainkban aktív fejlesztési iránynak számít. Kis méretű repülőeszközöknél (például UAV-k) a hidrogénhajtás, például üzemanyagcella, ma már elfogadható alternatíva, míg nagygépes repülésben egyelőre a rendkívül nagy térfogatigény jelent akadályt. A hidrogén nagy mennyiségű, zöld előállításának, valamint tárolásának és kezelésének fejlesztésével egyre közelebb és közelebb kerülünk a zéró emisszióra képes repülés megvalósításához [20].

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repüléstudományi és Hajózási Tanszéke már korábban több cikket publikált alternatív hajtásrendszerek témájában. Ez a cikkünk most a nagynyomású földgázt (CNG) vizsgálja kis méretű helikopterek használata kapcsán. A cikk a diplomamunkám témájába és az ÚNKP program keretén belül kapcsolódó elvégzett kutatási munkába illeszkedik [9], ahol a CNG- és LNG-hajtás lehetőségeit vizsgáltam különböző kategóriájú repülőeszközök esetén. A CNG használatával várhatóan jobb kibocsátási mutatók és jelentős költségcsökkenés érhető el, az átalakítás nem igényel jelentős áttervezést vagy költségeket, valamint a rendszerek karbantartásigénye és költsége összemérhető a jelenlegi megoldásokkal.

2. CNG és LNG mint tüzelőanyag

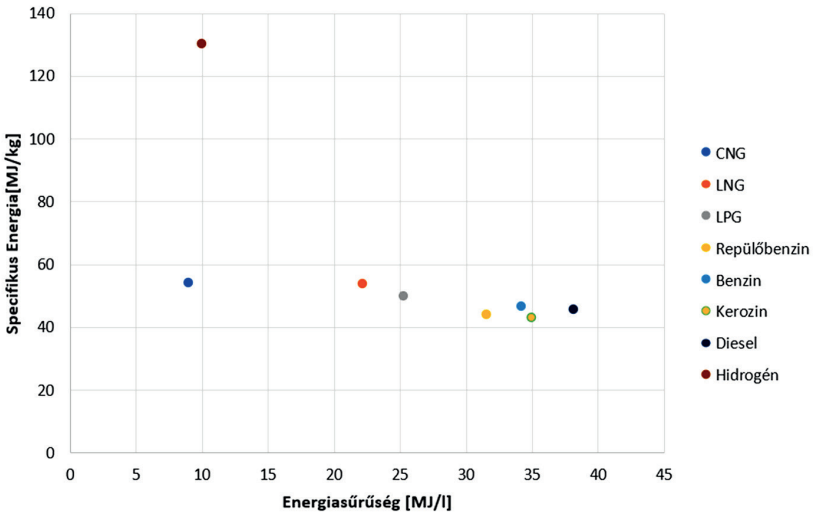
A CNG-hajtás több szempontból jelent fejlődést a korábbi tüzelőanyagokhoz képest [9]. Valójában miért is terjedhet el a CNG-hajtás:

- 15%-kal kevesebb COx-kibocsátás [16];
- 80%-kal kevesebb NOx-kibocsátás [21, 7];
- 90%-kal kevesebb HC-kibocsátás és a korommentesség [7].

Energiasűrűséget tekintve az 1. ábrán láthatjuk a különböző tüzelőanyagok specifikus energia–energiasűrűség viszonyait, és ebből adódó előnyeit, hátrányait.

A repülőgépek fejlődése mellett nem szabad elmenni a károsanyag-kibocsátás szabályozására vonatkozó tervek mellett sem. 2018-ban az Európai Unióban elindult egy törekvés, amely szerint az EU minden tagországának kötelező teljesíteni a klímasemlegességet 2050-re [17].

Az elérhető hatásfokot tekintve előrevetíthető, hogy a CNG-hatásfok kismértékű javulást mutat a repülőbenzines/benzines esettel szemben (CNG-s esetben reális a 30–31% és akár a fölötti, míg repülőbenzines esetben ~30% a maximálisan elérhető hatásfok) [10].



1. ábra

Energiasűrűség és specifikus energia megoszlása különböző tüzelőanyagok esetén [18]

CNG kapcsán kétfajta gázzal találkozhatunk az iparban. Az egyik a GR, a másik G25 GR, amelyek kompozíciójukban térnek el egymástól (lásd 1. táblázat).

1. táblázat
CNG-típusok [15]

GR (T = 20 °C, p = 101,3 kPa)	
Metán	87%
Etán	13%
G25 GR (T = 20 °C, p = 101,3 kPa)	
Metán	86%
Nitrogén	14%

A különböző gázkompozíciók elfogadhatók a következő határokon belül:

- 83% CH_4 minimum a CNG-ben;
- Olaj % a gázban < 175 ppm.

A rendszer töltése során nem haladhatjuk meg a 260 bar nyomást, illetve az 50 °C-ot. A rendszer névleges üzemi nyomása 200 bar, a hidraulikus tesztnyomás pedig 300 bar. A henger (tartály) esetén a megengedhető maximális külső hőmérséklet 57 °C. A töltési és ürítési ciklus során a tartályokat kimerülési ciklusnak vetik alá, amely elengedhetetlen a tüzelőanyag-feltöltés vagy -kiürítés esetén. A következő 3 feltételt viszont be kell tartani [9]:

1. maximális terhelési hőmérséklet: 50 °C;
2. maximális terhelési nyomás: 220 bar;
3. újratöltési hőmérsékleten és nyomáson úgy, hogy az 50 °C-on történő további melegítés hatására ne haladja meg a 260 bar nyomást.

3. CNG-átalakítás menete

A fejezet a [15] forrás alapján készült el. A működést tekintve, a CNG-t különböző biztonsági szelepekkel felszerelt tartályokban tárolják el. Az indítást követően a jármű alapból az eredeti benzin/dízel üzem szerint lesz beállítva. CNG-re való váltást követően a motor működése közben a CNG gáztömlőkön keresztül a nyomásszabályozókon és a szűrőn át eljut a befecskendezéshez, ahol levegővel keveredve eljut a hengerekbe, majd a munkafolyamat után a kipufogócsövön keresztül az égéstermék távozik a környezetbe.

Az átalakítás során különféle kulcspontokra kell figyelni. Segítségül, egy Chevrolet „Avalanche" típusú gépjármű átalakítási folyamatát vettem alapul.

A lépéseket tekintve:

1. megfelelő tartályok kiválasztása;
2. gázszelep és szűrő megválasztása és beépítése;
3. injektorok beépítése;
4. motortér szerelvényeinek kialakítása;
5. reduktorok és nyomásmérők beépítése;
6. töltőszelepek beépítése;
7. üzemmódváltó kialakítása.

Az átalakítás egyik legfőbb mércéje a költségvonzatok és a hajtásrendszer megtérülésének alakulása. Költségvonzatot tekintve, a pontosabb értékeket és a megtérülés alakulását a 2. táblázat mutatja. A megtérülésszámítást gépjárművekre vonatkozó költségek alapján végeztem el, gépjárművekbe applikálható alkatrészekkel, mert ezek a hajtóművek nem különböznek jelentősen a kis méretű helikoptereken használt motoroktól. Az újraszertifikációs költségeket nem vettük figyelembe, további kutatások feladata a motorok közötti különbségek részletes vizsgálata és ezen keresztül a költségek pontosítása [3].

2. táblázat

Megtérülés alakulása forgószárnyas repülőgépek esetén, a piaci árak szerint

Költségek megnevezése	**Költségek értékei**
Átépítés költsége [3]	250 000 Ft
CNG literenkénti ára [3]	330 Ft
Benzin (repülő) literenkénti ára [3]	700 Ft
Megtérülés x liter után	675 l
Megtérülés y km után	5405 km

4. Számítási módszer ismertetése

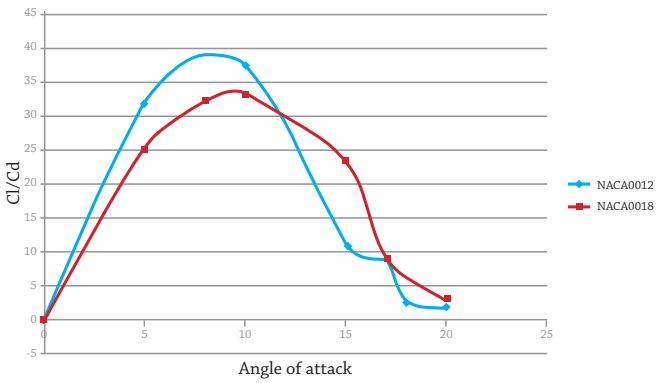
Az előtervezés első fázisában egy egyszerűsített repülési profilt építettünk fel, amelyben a vizsgált hatótávolságot az utazó üzemmódban érvényes adatok segítségével határoztam meg. Elsődlegesen ultrakönnyű, CS-VLR-be tartozó repülőket vizsgáltam, majd további célom nagyobb, más kategóriába sorolható helikopterek vizsgálata.

A leegyszerűsített repülési profil meghatározása után, a Brequet-egyenlet [19] segítségével, meghatároztuk minden esetben az elérhető maximális hatótávolságát:

$$R = \frac{V*\left(\frac{L}{D}\right)}{g*SFC} * \ln\left(\frac{W_i}{W_f}\right) \quad (1)$$

ahol az R – az elérhető hatótávolság, a v – az utazási sebesség, L/D – a helikopter jósági száma, g – a gravitációs állandó, SFC – a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás, illetve a W_i és a W_f a kezdeti és végleges tömeg.

Az egyenlet legfőbb bemenő adatának tekinthető, az L/D viszony, utazó üzemmódot tekintve. Az L/D viszony a poláris felhasználásával meghatározható. Egy kis méretű helikopter forgószárnyának feltételezett profiljait mutatja a 2. ábra.



2. ábra
NACA-0012 és a NACA-0018-as profil jósági számának alakulása 0–20 ° állásszög-tartományon [1]

Az SFC- (fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás) [12] értékek pedig különböznek mind kerozinos/benzines hajtást tekintve, mind CNG-s hajtást figyelembe véve (3. táblázat).

3. táblázat
Különböző esetekben az SFC-értékek [12]

	Repülőbenzines eset	CNG-s eset
SFC [12]	3,02 [g/Ns]	2,81 [g/Ns]

A számításaink során a W_i és a W_f értékek között a különbséget a repülés során elfogyasztott benzin/CNG adja. A helikopterek tulajdonságait figyelembe véve megvizsgáltuk, hogy a jelenlegi MTOW (*Maximum Take-Off Weight* – maximális felszálló tömeg) értéket mint limitet figyelmen kívül hagyva, mekkora lehet a repülőgép maximális felszálló tömege. A célunk az, hogy kompromisszumos megoldásként elérjük a maximális hatótávolság minimum 70%-át, mert itt még az előzetes becslések szerint nem jelenik meg jelentős korlátozás a jelenlegi felhasználáshoz képest a csökkentett hatótáv miatt. A többletsúly okozta terhelés hatását a szerkezetre nem ellenőriztük (illetve a súlypont helyzetét), ehhez további vizsgálatok szükségesek, de a hozzáadott tömeg nem képvisel jelentős százalékot. Helikopterek esetében a tartályokat a szerkezeten kívül helyeznénk el. Kis méretű helikopter esetén ez kevésbé rontja az aerodinamikai tulajdonságokat, mint például nagyobb/gyorsabb helikoptereknél vagy merevszárnyú repülőgépek esetén.

A hatótávolság mellett meghatároztuk a különféle dinamikai és teljesítménymutatókat [22]:

- a közeli indukált sebesség a haladási sebesség függvényében;
- az elérhető és a rendelkezésre álló teljesítmény viszonyai;
- az emelkedőképessége;
- illetve a haladási sebesség függvényében az emelkedési sebesség.

A kapott eredményeket figyelembe véve egy előzetes ajánlást fogalmaztunk meg a kis méretű helikopterekre vonatkoztatva, a jövő CNG-hajtását figyelembe véve.

5. CNG-teljesítménymutatók, hatótávolság-analízis

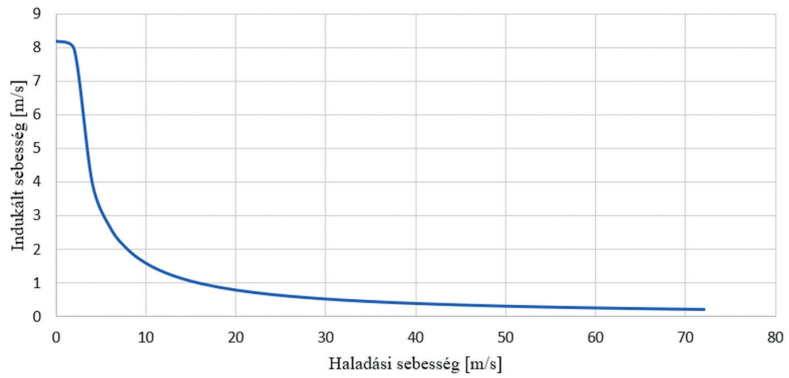
A választott helikopter egy HC02.02 Hungarocopter típusú ultrakönnyű helikopter (3. ábra). Specifikációit [11] a 4. táblázatban látjuk.

3. ábra
Hungarocopter HC.02 [11]

4. táblázat
HC02.02 Hungarocopter specifikációi [11]

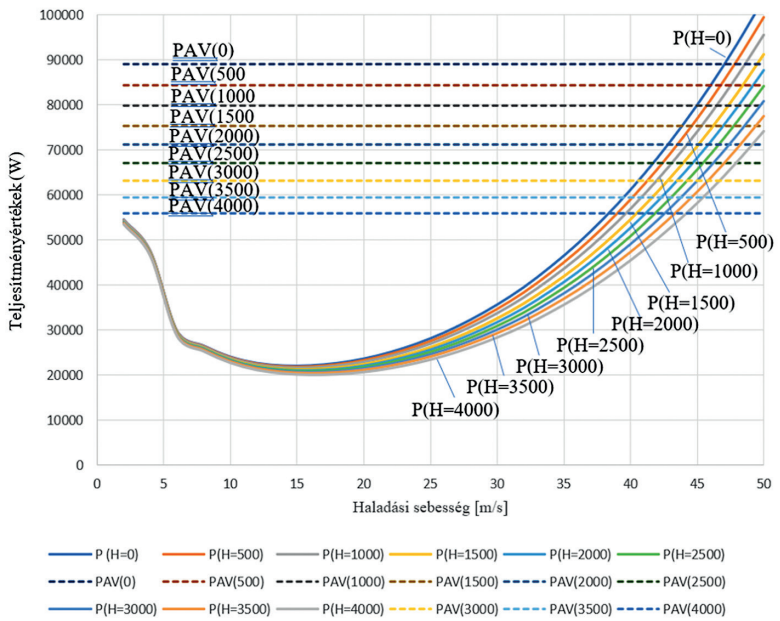
Paraméterek	Megnevezések	Értékek	Mértékegységek
D	Forgószárnyátmérő	7	m
N	Forgószárnylapátok száma	2	db
A_r	Súrolt felület	38,465	m^2
DL	Felületi terhelés	108	N/m^2
n	Fordulatszám	546	1/min
v_{max}	Max. sebesség	200	km/h
P	Teljesítmény	95	kW
h	Tüzelőanyag-kapacitás	40	l
MOE	Szerkezeti tömeg	309	kg
b	Fogyasztás	20	l/h
MTOW	Max. felszálló tömeg	550	kg

A kiindulási adatok függvényében a közeli indukált sebesség viszonyait mutatja a 4. ábra.



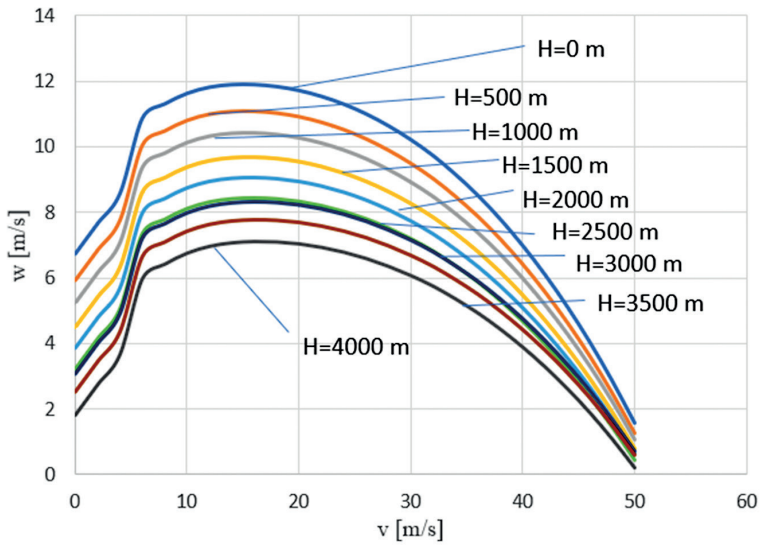
4. ábra
Közeli indukált sebesség alakulása a haladási sebesség függvényében [számításaim alapján készült]

A kiindulási paraméterek függvényében a szükséges és az elérhető teljesítmények alakulását mutatja az 5. ábra.



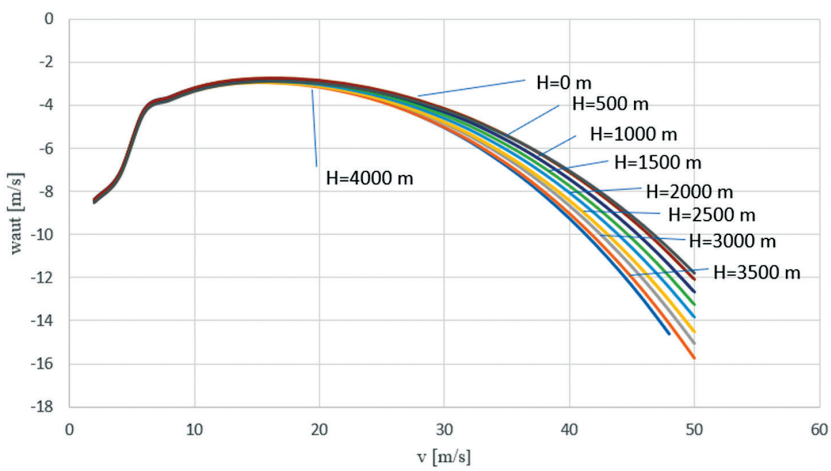
5. ábra
Szükséges (P) és elérhető (PAV) teljesítmények alakulása, magasság függvényében (magasság [m]) [számításaim alapján készült]

Az emelkedőképességet a haladási sebesség függvényében, különböző magasságokra mutatja a 6. ábra.



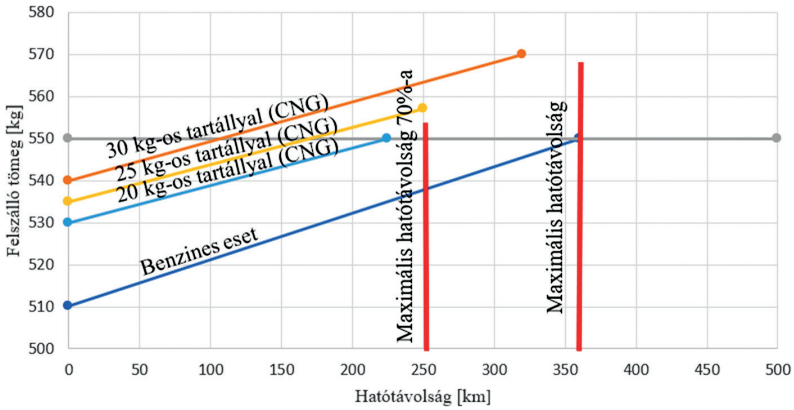
6. ábra
Emelkedőképesség a haladási sebesség függvényében, különböző magasságokra (magasság [m]) [számításaim alapján készült]

Autorotációban a leszállás (waut sebesség) alakulása, különböző magasságértékek esetében (lásd 7. ábra).



7. ábra
Süllyedés alakulása autorotációban különböző magasságokra (magasság [m]) [számításaim alapján készült]

A CNG hajtásrendszer legfontosabb teljesítménymutatóit a 8. ábra mutatja. Az ábrán egyértelműen összehasonlítható a CNG-s hajtású jármű a benzines esettel szemben.



8. ábra
A helikopter hatótávolsága a tüzelőanyag-fogyasztás figyelembevételével [számításaim alapján készült]

A vizsgálatban különböző tartályméreteket vizsgáltunk. A jelenlegi MTOW-értéket, illetve a tartálytömegeket figyelembe véve jobb a kisebb tartály választása, mert a nagyobb tartályok nem használhatók ki teljesen a jelenlegi 550 kg maximális felszállótömeg esetén. Az elérhető legjobb megoldást a 20 kg-os tartály jelenti, amellyel 225 km hatótáv elérhető (64%). Nagyobb tartályok esetén látható, hogy az MTOW-limitet figyelembe véve a maximálisan elérhető hatótávolság kevesebb mint 50%-át érhetjük el. Itt feltételeztük, hogy a tartályok standard méretekben, 5 kg lépcsőben érhetők el. A számítás során megvizsgáltuk, hogy a jelenlegi MTOW-t figyelmen kívül hagyjuk úgy, hogy a maximálisan elérhető hatótávolság legalább 70%-át érjük el. Ehhez természetesen a jelenlegihez képest megnövelt tömeggel kell felszállni, viszont a helikopter így is a jelenlegi méretkategórián (CS-VLR) belül marad. A tömegnövekedés további hatását a jelenlegi tanulmány nem vizsgálja. Megoldás tekintetében célszerű a tartályok elhelyezése a szerkezeten kívül, úgy, hogy mindegyiket, a szerkezeten kívül, a törzs mögé helyezzük el. Ez a megoldás kis méretű helikoptereken az aerodinamikai tulajdonságok csak kis méretű zavarása mellett elfogadható lehet. Mivel a tartályok közel azonos pozíciót foglalnának el, mint a jelenlegi, így feltételezhetően nem eredményezne stabilitási problémát az átalakítás, de a hatásának vizsgálatára további kutatások szükségesek.

Az MTOW figyelmen kívül hagyásával látható, hogy a kompromisszumos tartályméretnek tekinthető 25 kg-os tartály esetében a tömegkülönbség kicsi (5 kg nagyságrendileg), viszont a célnak kitűzött 70% hatótáv elérhető. Nagyobb tartály esetén jobban közelíthető az eredeti hatótáv, viszont a tömegnövekedés jelentősebb. A számításaink alapján 20 kg-os tartály esetében tudnánk tartani az MTOW-limitet, amely szintén elfogadható lehet, és csökkentheti az újraszertifikációval kapcsolatos munkát és költségeket.

A vizsgálat alapján elmondható, hogy amennyiben a csökkentett hatótáv elfogadható a jelenlegi helyzethez képest, a CNG elfogadható alternatívát jelenthet. Tipikus felhasználás lehet a városon belüli vagy elővárosi (ingázó) légi közlekedés, civil és katonai kiképző felhasználás

és hasonló alkalmazások, ahol nem kifejezetten a hosszú repülési idő vagy megtett út a cél. Mindent összevetve, a kapott eredményekből látható, hogy célszerű a jövőben olyan irányú kutatásokat indítani, amelyek a kis méretű helikopteres CNG-hajtást tovább vizsgálja, mind technológiai, mind a feladat oldaláról.

6. Összefoglalás

A 2017-es CNG & LNG Konferencián közös európai uniós célt fogalmaztak meg, amely szerint 2030-ra 30%-kal kell csökkenteni az üvegházhatású gázok kibocsátását. Ennek egyik lehetősége a CNG-hajtásrendszer fejlesztése. Munkánk során a CNG-hajtásrendszer kutatásával foglalkoztam. A CNG egy metán-etán elegy, amelynek legfontosabb tulajdonsága a csökkentett kibocsátás: korommentesség, a 15%-kal kevesebb CO_x, 80%-kal kevesebb NO_x, illetve a 90%-kal kevesebb HC-kibocsátás. 220 bar maximális üzemi nyomás és a maximális 50 °C-os terhelési hőmérséklet alatt használható, illetve a kerozinhoz és benzinhez képest nagyjából feleakkora az energiasűrűsége, fajlagos energiatartalma pedig jobb.

Kutatásom további részében egy Hungarocopter (HC02.02) típusú kis méretű forgószárnyas repülőgépet vizsgáltam. CNG-hajtásrendszerre átalakítást feltételezve összehasonlítottam a hagyományos benzin üzeművel. A teljesítmény- és sebességviszonyokat figyelembe véve megvizsgáltam, hogy a CNG-s esetben mekkora az elérhető maximális hatótávolság. Számításaim alapján, ha az MTOW-limitet figyelembe vesszük, akkor az elérhető hatótávolság maximum 64%-a az eredetinek, 20 kg-os tartállyal. A limitet figyelmen kívül hagyva, illetve különböző tartályméreteket vizsgálva a célom az volt, hogy az eredeti hatótáv minimum 70%-át érjük el. Ez elérhető 25 kg tartálymérettel, a limit 1%-os túllépésével. A limitátlépés hatását a teherbírásra tovább kell vizsgálni. A tartályok elhelyezhetők szerkezeten kívül a törzs mögött, amely aerodinamikai és stabilitási szempontokból kis méretű helikopter esetén elfogadható lehet. A gazdasági megtérülés közúti járművekre jellemző átalakítási költségek alapján hozzávetőlegesen 5400 km lehet abban az esetben, ha a tüzelőanyagok árkülönbségét, illetve az átépítés költségét vettük figyelembe közúti példa alapján. A megtérülés esetén további kutatást igényel a karbantartás, a certifikáció és a dokumentációs költségek vizsgálata.

A kutatás további irányai a hajtásrendszer részletesebb tervezése, a költségek becslései, aerodinamikai és stabilitási számítások pontosabb elvégzése, a CNG-hajtástechnológiát a tanszéki repülőgép-tervezési módszerekbe és eszközökbe integrálni, valamint más kategóriájú, nagyobb helikopterek és merevszárnyú repülőgépek vizsgálata is.

Hivatkozások

[1] Abdus Shadur, Afnan Hasan, Mohamed Ali, "Comparison of Aerodynamic Behaviour between NACA 0018 and NACA 0012 Airfoils at Low Reynolds Number Through CFD Analysis," *Advancement in Mechanical Engineering and Technology,* vol. 3, no. 2, 1–8, 2020. Online: https://doi.org/10.5281/zenodo.4003677

[2] Advisory Council for Aeronautics Research in Europe, *Strategic Research and Innovation Agenda (SRIA).* Volume 1, 2011 – 2017 update

[3] Bácsgépker Autógáz, *CNG kompresszor témában is tudunk segíteni.* Online: www.auto-gaz-szerviz.hu/cng/
[4] D. Sziroczak, I. Jankovics, I. Gal, et al., "Conceptual design of small aircraft with hybrid-electric propulsion systems," *Energy,* vol. 204, 117937, 2020, Online: https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117937
[5] Rohács J., *A repülőgépek fejlesztésének történetét meghatározó törvényszerűségek.* Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repülőgépek és Hajók Tanszék, 2003.
[6] E. Helmers, J. Leitão, U. Tietge, et al., "CO2-equivalent emissions from European passenger vehicles in the years 1995–2015 based on real-world use: Assessing the climate benefit of the European 'diesel boom'," *Atmospheric Environment,* vol. 198, 122–132, 2019. Online: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.10.039
[7] Energiaoldal, *Gázüzemű autókkal már ma teljesíthető lenne a 2030-as kibocsátási cél.* 2016. Online: https://energiaoldal.hu/gazuzemu-autokkal-mar-ma-teljesitheto-lenne-a-2030-as-kibocsatasi-cel/
[8] European Commission, *Flightpath 2050. Europe's Vision for Aviation. Report of the High Level Group on Aviation Research.* Luxembourg, Directorate-General for Research and Innovation, Directorate General for Mobility and Transport, 2011. Online: https://doi.org/10.2777/50266
[9] Gábor A. D., *Repülőgépek CNG hajtásának vizsgálata és tervezése.* diplomamunka, Budapest, Budapesti Műszaki Egyetem, 2020.
[10] Gábor A. D., *Projektmunka – Hatásfok analízis,* Budapest, Budapesti Műszaki Egyetem, 2020.
[11] Hungarocopter, *HC02-02.* Online: http://hungarocopter.hu/hu/specifikaciok
[12] Lukasz Grabowszki, Ksenia Siadkowska, Krystof Skiba: *Simulation research of aircraft piston engine Rotax 914* , Aviation Propulsion Systems, Nadbystrzycka 36 Str., 20-618 Lublin, Poland
[13] International Air Transport Association, (IATA), *A Global Approach to Reducing Aviation Emissions.* IATA, June 2009 Online: www.iata.org/en/pressroom/pr/2009-12-08-01/.
[14] International Civil Aviation Organization, *ICAO Environment Report.* 2010.
[15] Iveco, CNG rendszer felépítése Daily NG, Cab40C Daily 4x2 MY2016(B40C), 5000338790
[16] N. Matsumoto, *Japan's Experience with Short-Lived Climate Pollutants: The Case of Black Carbon.* Institute for Global Environmental Strategies, 2015.
[17] A. Drake, C. A. Harris, S. C. Komadina, et al., *Environmentally Responsible Aviation N+2 Advanced Vehicle Study.* Final Technical Report, NASA/CR – 2013 – 218304, 2013.
[18] Sanafarastan: Category, Online: http://sanafarastan.com/category/news
[19] Thermodynamics and Propulsion: Aircraft Range: the Breguet Range Equation. Online: https://web.mit.edu/16.unified/www/FALL/thermodynamics/notes/node98.html
[20] Venczel M., Bicsák Gy., Rohács D. et al. „Hidrogéncella alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata hibrid hajtású kisrepülőgépekhez," *Repüléstudományi Közlemének,* 29. évf. 3. sz. 253–272. 2017.
[21] W. Mitianiec, "Perspective of Applying of Natural Gas in Internal Combustion Engines in Respect to Environmental Protection: Review Perspektywy Zastosowania Gazu Ziemnego W Silnikach Spalinowych ze Względu na Ochronę Środowiska Naturalnego: Przegląd," in *Proc. of KONMOT,* Cracow University of Technology, September, 2014.

[22] Z. Petrović, S. Stupar, I. Kostić, et al., "Determination of a Light Helicopter Flight Performance at the Preliminary Design Stage," *Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering,* vol. 56, no. 9, 535–543, 2010.

A mű az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-20-2 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal
Új Nemzeti Kiválóság Program

Compressed Natural Gas in the World of Rotorcraft

Today, due to the change in society's attitudes and values, environmental protection and sustainability are gaining more and more prominence, even in the field of aviation. One possibility is the development of CNG propulsion systems. CNG is a methane-ethane mixture that produces 15 per cent less CO_x, 80 per cent less NO_x, and up to 90 per cent less HC emissions, while being a soot-free fuel. In our work, I investigated rotary-wing aircraft with CNG propulsion compared to the original petrol case. In the case of conversion to CNG, one of the main aspects is range in addition to propulsion efficiency. In the case of a small rotorcraft, range can reach 70 per cent of the petrol version, for the cost of 5 kg increased MTOW. Maintaining current MTOW, the maximum range is 64 per cent of the current petrol version. Considering the cost of conversion, based on available automotive examples, return on investment is in the order of 5400 km in the case of small rotorcraft. CNG propulsion can be a pioneering solution in the case of small helicopters used in pilot training and short-haul, urban mobility.

Keywords: *rotorcraft, CNG, pollutant, emissions*

Gábor Armand Dávid MSc-hallgató Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Légi járművek szakirány Repüléstudományi és Hajózási Tanszék armandgabor@yahoo.com orcid.org/0000-0002-3015-3564	Armand Dávid Gábor MSc student Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering Aeronautics Specialization Department of Aeronautics and Naval Architecture armandgabor@yahoo.com orcid.org/0000-0002-3015-3564

Dr. Sziroczák Dávid egyetemi adjunktus Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Repüléstudományi és Hajózási Tanszék sziroczak.david@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0002-0949-8912	Dávid Sziroczák, PhD Assistant Professor Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautics and Naval Architecture sziroczak.david@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0002-0949-8912

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
33. évfolyam (2021) 1. szám 137–156. • DOI: 10.32560/rk.2021.1.11

Békési Bertold, Sári János

A kriogenika felhasználhatósága a modern repülésben

A cikkben a szerzők ismertetik a kriogén rendszerekkel kapcsolatos kutatási tevékenységüket. A bevezetést, valamint a kriogenika rövid történetét követően bemutatjuk a repülésben alkalmazott kriogén gázokat, elemezve a folyékony hidrogén használatát. Egy példán keresztül olyan számítógépes szoftver használatát mutatjuk be, amely a valósághoz hűen képes a közegek áramlásának fizikai-matematikai modellezésére. Célunk egy átfogó, könnyen megérthető összefoglaló elkészítése a modernkori repülés alternatívájáról.

Kulcsszavak: *kriogenika, kriogén rendszerek, kriohűtő, repülés, hidrogén*

1. Bevezetés

A hibrid-elektromos repülőgépek vizsgálata a légi közlekedés jövőjének egyik lehetséges megoldása, és akár végső megoldást is jelenthet az olyan kihívásokra, mint a repülés gazdaságossága, az üzemanyag-hatékonyság növelése, a csendesebb gépek és a szennyező anyagoktól mentes levegő az Európai Unió Flightpath 2050 szerint. A repülőgéppel utazó utasok száma folyamatosan növekszik, éves szinten körülbelül 4%-kal [26]. Napjainkban a repülés emissziója „csupán" az emberi kibocsátás ~2%-áért felelős, ami a jelenlegi energiaszerkezet és a légi forgalom prognosztizált növekedése (IATA[1] szerint 3,5%/év) mellett, az évszázad közepére meghaladhatja a 3%-ot is. Ez valójában inkább 10% lesz, de elérheti akár a 20%-ot is, amennyiben a közlekedés más – döntően a hagyományos fosszilis energiahordozókat felhasználó – ágazatai (például közúti közlekedés) visszaszorulnak az elektromos meghajtás tömegessé válásával. Ezzel a repülés lehet a legnagyobb szén-dioxid-kibocsátó gazdasági ágazat az összes közül [12].

Ezen fejlemények ismeretében a teljes légi közlekedési ágazat abszolút kibocsátása növekedéséhez vezet – bár ezt a tendenciát kis mértékben csökkenti a jelenlegi Covid-19 miatt kialakult helyzet –, ami éles ellentétben áll azzal a céllal, hogy 2050-ig ezt 50%-kal csökkentsék. A kereskedelmi repülőgépipar további célja a kibocsátási célok elérése: az utaskilométerenkénti szén-dioxid-kibocsátás 75%-os csökkentése (a 2000-es szinthez viszonyítva), 55 dB-es zajcsökkentés és 2050-ig 70%-os tüzelőanyag-felhasználás csökkentés. Ennek egyik

[1] IATA – *International Air Transport Association:* Nemzetközi Légi Szállítási Szövetség.

megoldása az ICAO[2] által bevezetett és működtetett rendszer, amely közvetett gazdasági eszközökkel kívánja a szándékolt emissziócsökkenést elérni [6]. A célok eléréséhez azonban nem hagyományos, hanem hatékonyabb technológiára (például kevesebb tüzelőanyagot felhasználó és tökéletesebb égést biztosító hajtóművek [7]) és alternatív repülőgép-konfigurációkra van szükség (aerodinamikai szempontból kisebb légellenállású sárkányszerkezetek). Ezen technológiák megvalósításához a hibrid-elektromos, elektromos meghajtású repülőgépek, határréteg-beviteli (BLI)[3] meghajtási koncepció, magas hőmérsékletű szupravezetők (HTS)[4] alkalmazására lenne szükség, és számos más tervezési módosítást is be kell vezetni [12], [15], [20], [25], [27].

A repülés modern társadalmunk szerves részét képezi, így nem meglepő, hogy fokozatosan nagyobb hangsúlyt fektetnek a kereskedelmi repülés kutatási és fejlesztési tevékenységeire. Ennek a folyamatnak a hatására létrejövő elektromos légi járművek legnagyobb problémája, hogy a tartós üzemeltetéshez nélkülözhetetlen áramszükségletet jelenleg csak kisgépes kategóriában lehetséges kivitelezni. Megoldásként előszeretettel alkalmaznak olyan magas hőmérsékletű szupravezetőket, amelyek képesek kiszolgálni a nagy teljesítménysűrűség-igényű elektromos rendszereket.

Az elmúlt évek során kevesebb hangsúlyt fektettek a szupravezetést támogató kriogén rendszerek integrálására repülőgépek elektromos szerkezeteiben. A kriogenika az anyagok és azok nagyon alacsony hőmérsékleten történő (< 120 K) viselkedésének a tanulmányozása. Hűtőanyagközegként leggyakrabban folyékony hidrogént (LH_2) alkalmaznak a természetéből adódó kettős alkalmazhatóságát kihasználva.[5] A tárolt energia visszanyeréséhez elengedhetetlen a kriogén hőcserélő, valamint az áramtermeléshez használt expander.

Az ilyen típusú rendszerek modellezésére előszeretettel alkalmaznak, olyan háromdimenziós szoftvereket, amelyek képesek numerikus áramlástani (*Computational Fluid Dynamics* – CFD) szimulációkat elvégezni. Cikkünkben az Ansys multifizikai szoftvercsomag mint esetleges vizsgáló eszköz – *egy* példán keresztüli – rövid bemutatását is fontosnak tartottuk. Hisszük, hogy kutatásunk eredményeként az olvasó egy könnyen érthető, átfogó képet kap a kriogén rendszerekről, valamint azok jövőbeni alkalmazhatóságáról [4], [16], [17], [20], [29].

[2] ICAO – *International Civil Aviation Organization:* Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet.

[3] BLI – *Boundary-Layer Ingestion:* határréteg bevitel. A repülőgépek hatékonysága javításának egyik módja az, hogy csökkentsük a repülőgép saját hajtóműveinek használatát. A NASA Clevelandi Glenn Kutatóközpontjának mérnökei egy újfajta meghajtórendszert tesztelnek a határréteg bevitele elnevezésű elv alapján. Elemző tanulmányok kimutatták, hogy ez az új technológia potenciálisan akár 8,5%-kal is csökkentheti a repülőgép tüzelőanyag-elégetését a napjainkban használt repülőgépekhez képest. A mai sugárhajtású repülőgépeken a hajtóművek általában a repülőgép testétől távol helyezkednek el, hogy elkerüljék a repülőgép felszínén kialakuló, lassabban áramló levegőréteget, az úgynevezett határréteget. Az új meghajtókialakítás, vagyis a beömlőnyílás és a ventilátor, a törzs hátsó részén található repülőgéptestbe van ágyazva, és magába szívja a lassabb határrétegű légáramlást, felhasználva ezzel a repülőgép meghajtásához szükséges tolóerőt. A lassabb határréteg levegője azt jelenti, hogy a hajtóműveknek nem kell olyan keményen dolgozniuk, ezért tüzelőanyag-fogyasztásuk csökken. Ugyanakkor csökken a repülőgép ellenállása is, mivel a hajtóművek „elnyelik" ennek az ellenállásnak a részét, így a repülőgép általános tüzelőanyag-hatékonysága jobb, és kevesebb tolóerőre van szüksége a repülőgépnek az azonos sebességgel való repüléshez. Ezeknek az új meghajtószerkezeteknek speciális bemenetre van szükségük, amely elősegíti az örvénylő áramlás kiegyensúlyozását, mielőtt az a ventilátorhoz jutna, és egy erősebb, tartósabb ventilátorra, amely ellenáll az áramlás torzítása által okozott állandó ütésnek [21].

[4] HTS – *High Temperature Superconducting:* magas hőmérsékletű szupravezető.

[5] Folyékony hidrogén használható elsősorban repülőgépek lehetséges tüzelőanyagaként, másrészt szupravezető anyagok hűtésére elektromos légi eszközökben. Természetesen e kettő kombinációja is egy lehetséges megoldás.

2. A kriogenika rövid története

Ahogy az a bevezetésben is említettük, a kriogenika a fizikatudománynak azon ága, amely az anyagok ultra alacsony hőmérsékleten való viselkedését vizsgálja. Kriogenikus hajtóműveket használnak az űrprogramokban, szupravezetők esetén, továbbá olyan helyeken, ahol fontos az üzemanyag alacsony hőmérsékleten való tartása, elkerülve a gázhalmazállapotba való átalakulást folyékony állapotából. A kriogenika történetében az első nagyobb áttörést a Joule–Thomson effektus,[6] felfedezése jelentette az 1800-as évek közepén. Ezt követte 1877-ben az oxigén cseppfolyósítása a kaszkád módszer segítségével, Raoul Pictet Pierre által. Az elkövetkező években a cseppfolyósítási folyamatok fokozatosan fejlődtek. Ezt az állítást alátámasztja James Deward 1898-as sikeres kísérlete, amelyben képes volt folyékony hidrogén előállítására. Ezt követően 1908-ban Heike Kamerlingh Onnes, az alacsony hőmérséklettel foglalkozó tudományágak egyik jeles képviselője cseppfolyósította a héliumot, majd 1911-ben leideni kutatócsapatával definiálta a szupravezetést.

A kriogén technológia az 1960-as évektől kezdődően fokozatosan nagyobb jelentőségre tett szert, köszönhetően a hűtőrendszerek egyre szélesebb körű alkalmazásának. Természetesen ehhez kulcsfontosságú volt a kriogenikus anyagok hőszivárgásának minimalizálása, ugyanis ez határozza meg a költséghatékonyságot. Az így létrejövő többrétegű szigetelés (MLI)[7] volt a kriogenikus rendszerek fejlődéstörténetének egyik legfontosabb állomása (vákuumszigetelés) [9], [22], [24].

Franciaország, Németország és az Európai Unió az elmúlt hónapokban bejelentette, hogy milliárdokat fektet be a hidrogén-infrastruktúrába [23]. Az Airbus három hidrogénüzemű, nulla szén-dioxid-kibocsátású repülőgép-koncepciót mutatott be. Kereskedelmi működésük a tervek szerint 2035-ben kezdődik. Mindegyik koncepció más megközelítést tükröz a nulla kibocsátás tervezésében és elérésében. Az első lehetőség egy sugárhajtóművel rendelkező repülőgép (lásd 1. ábra felső részén), amely 120–200 utas befogadására képes, és 2000 tengeri mérföld[8] (3704 km) feletti repülést hajt végre, beleértve a transzkontinentálisakat is. Ez az elképzelés azon túlmenően, hogy hagyományos fosszilis üzemanyagok helyett hidrogént égető gázturbinás hajtóművet használ, az A320 család potenciális helyettesítőjét képezi. A cseppfolyósított hidrogéntartályok a hermetikus válaszfal mögött a farokrészben helyezkednének el [2], [31].

[6] Joule–Thomson effektus: Olyan reális gázok vagy folyadékok hőmérséklet-változását írja le, amelyek a környezetüktől elszigetelve, egy fojtást tartalmazó nyíláson át (porózus) kitágulnak.
[7] MLI – *Multilayer Insulation:* többrétegű szigetelés.
[8] Nemzetközileg elfogadott 1 tengeri mérföld megegyezik 1852 méterrel.

1. ábra
Az Airbus repülőgép koncepciói [2]

A második lehetőség egy legfeljebb 100 utas befogadására képes turbolégcsavaros repülőgép (lásd 1. ábra alsó részén), amely több mint 1000 tengeri mérföldes (1852 km) repülésekre lesz alkalmas. Itt a hidrogént szintén egy gázturbinás hajtóműben égetik el. A harmadik lehetőség az egyesített szárny-törzs konstrukció (csupaszárny)[9] rendszer alkalmazása (lásd 1. ábra jobb oldala), ez a repülőgép legfeljebb 200 utast képes befogadni, és repülési hatótávolsága is meghaladja a 2000 tengeri mérföldet. Az ultraszéles törzs használata további lehetőségeket kínál a hidrogéntartályok szárny alatti tárolására, valamint az utasok elhelyezésére az utastérben. A kérdés csak az, hogy miként biztosítható a gyors evakuálás a kabin közepéről vészleszállás esetén. A legérdekesebb, hogy mindhárom koncepcióban hidrogén elégetését javasolják, vagyis úgy döntöttek, hogy felhagynak az áramot előállító és az elektromos motorokat forgató üzemanyagcellákkal [2], [31].

Ennek ismeretében a hidrogénrepülőgép-koncepcióban nincs semmi új, csupán egy kísérlet a régi jó Tu-155[10] feltalálására, amely még 1988. április 15-én (sikeres tesztrepülést követően) az első folyékony hidrogén felhasználású üzemképes légi jármű volt. Az akkori szovjet fejlesztők a CCCP-85035 lajstromszámú repülőgép utasoknak fenntartott részében helyezték el az üzemanyag tárolásához szükséges hidrogéntartályt (lásd 2. ábra jobb oldalán a kék tartály). 1989-ben a repülőgépet átalakították és tüzelőanyagként cseppfolyósított földgázt

[9] BWB – *Blended Wing-Body:* egyesített szárny-törzs konstrukció (csupaszárny).

[10] A Tu-155-ös, amely valójában a Tu-154-es utasszállító módosított változata. A csaknem 48 m hosszú négyüléses repülőgépet három hajtóművel szerelték fel: két klasszikus Kuznetsov „NK-8-2" turboventillátorossal, összesen 21 t-s tolóerővel, és egy folyékony hidrogénnel üzemelő gázturbinás sugárhajtóművel (ma már NK-88-nak hívják). A Tu-155 képes volt 12 km-es magasságban 1000 km/h sebességgel repülni. A 20 m^3 űrtartalmú hidrogéntartály körülbelül 3000 km repülési távolságot biztosított [3], [14], [23], [30], [32].

(hőmérséklet –162 °C) használt.[11] Összesen körülbelül 100 repülést hajtottak végre kriogén üzemanyaggal, amelyből mindössze 5 folyékony hidrogénnel, a többi pedig cseppfolyósított földgáz alkalmazásával, majd a Szovjetunió felbomlásával és pénzügyi okok miatt a projekt fokozatosan feledésbe merült [2], [3], [13], [14], [23], [30], [32].

2. ábra
A Tu-155 kísérleti repülőgép [33]

3. Kriogén gázok

A légi járművek működtetésére használatos cseppfolyósított gázok közül leggyakrabban kerozint alkalmaznak. Természetesen léteznek másféle típusú gázok, amelyek esetleges alternatívaként működhetnek. Ilyenek például a különféle szén alapú vegyületek, mint a metán, etán, propán, bután, pentán, hexán. Előnyeik ellenére ellenük szól, hogy égetésük során (legyen az tökéletes vagy tökéletlen égés) üvegházhatást erősítő gáz (például szén-dioxid, nitrogén-oxidok, korom stb.) keletkezik [13], [14], [20].

Az elmúlt évek kutatásai és fejlesztései bebizonyították, hogy a hidrogén a jövő repülésében továbbra is egy lehetséges opció [15]. Cikkünkben a hidrogén felhasználását mint tüzelőanyagot, mint szupravezetők hűtésére szolgáló eszközt vizsgáljuk.

4. Hidrogén mint tüzelőanyag

A folyékony hidrogén (LH_2) mint üzemanyag számos pozitív és negatív tulajdonsággal rendelkezik. A következőkben a hidrogén tulajdonságait a kerozinhoz viszonyítva vizsgáljuk (lásd 1. táblázat).

Előnyök:

- a hidrogén energiasűrűsége, egységnyi tömegéből nyerhető égéshője a kerozinénak megközelítőleg háromszorosa;
- kisebb az üzemanyag súlya, mint a kerozinéé (0,36 kg hidrogén 1 kg kerozinnak megfelelő energiatartalommal rendelkezik);

[11] A tesztek eredményeként kiderült, hogy jelentős előnyei vannak: a „kerozinnal" szemben az üzemanyag-kapacitás tekintetében kb. 70%-kal, a repülőgép tömege szempontjából kb. 40%-kal, amelyek a hidrogén magas fűtőértéke miatt érhetők el [3].

- repülőgépek hajtóműveiben történő égése során nincs CO_2-kibocsátás;
- nincsenek másodlagos (korom, szén-monoxid, elégetlen szénhidrogén) égéstermékek, valamint nem keletkeznek illékony szerves vegyületek (lásd 1. táblázat);
- a kriogén hűtőborda használata jelentősen növeli a gázturbinás hajtómű hőhatékonyságát;
- üzemanyagcellákkal,[12] illetve elektromos motorokkal is használható;
- kevésbé hajlamos az égési instabilitásra;
- megújuló energiaforrásokkal előállítható.

Hátrányok:

- tárolására nagyobb hely szükséges, mint hagyományos esetben;
- a folyékony hidrogén nem tárolható a szárnyakban, raktározása csak is a törzsben lehetséges;
- az LH_2 tárolásához szükséges kriogén vagy túlnyomásos tartályok elhelyezése nehezen kivitelezhető;
- a cseppfolyósított hidrogén sűrűsége mindössze 1/12-e a kerozinénak;
- a tüzelőanyag költsége magasabb, mint a keroziné;
- a reptéri logisztika nehezen kivitelezhető (hidrogéntartályok tárolása, repülőtér biztonsága);
- az alacsony hőmérséklet, valamint a cseppfolyós halmazállapot fenntartásához hatékony szigetelés szükséges (aktív és passzív hőszigetelő rétegek);
- a repülés közben, nagy magasságokban az elégetés során keletkező vízgőz szintén kedvezőtlenül befolyásolja az üvegházhatást;
- a hidrogén hajlamos a szivárgásra;
- az elektrolízis, valamint a cseppfolyósítás energiahatékonysága alacsony [4], [13], [14].

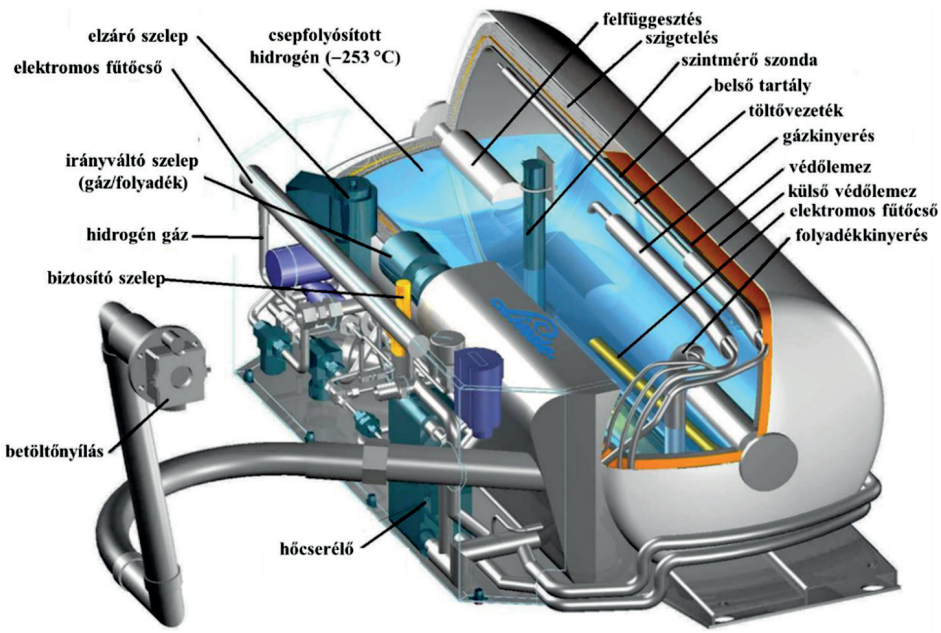
1. táblázat
A kerozin és az LH2 égéstermékei (Békési Bertold szerkesztése [13] alapján)

Égéstermék	Kerozin	Folyékony hidrogén (LH_2)
Elsődleges égéstermék	CO_2 H_2O	H_2O
Melléktermék	HC NO_X CO SO_2	H_2 NO_X

[12] Az üzemanyagcellák működésük során nem juttatnak a környezetükbe olyan káros anyagokat mint a hagyományos tüzelőanyagok (nitrogén-oxidok, kén-dioxid, illetve lebegő részecskék), így akár környezetbarátnak is nevezhető (lenne). Viszont a hidrogén betáplálásúak vízgőzt bocsátanak ki magukból, amely a magasabb légrétegekben, ahol a légi járművek közlekednek, hozzájárul az üvegházhatáshoz. Ezenkívül, a működéshez szükséges hidrogén előállítása jelenleg döntő hányadában nem környezetbarát technológiákkal, fosszilis eredetű energiahordozók felhasználásával történik (pl. gőz-, katalitikus reformálás, elektrolízis), ami így kizárja a H_2 környezetbarát besorolását [5].

5. Folyékony hidrogén tárolása

Az ilyen típusú tartályok (3. ábra) tervezésénél a legnagyobb kihívást a folyékony hidrogén –253 °C-os rendkívül alacsony hőmérsékletének megtartása jelenti. A tároló eszköz kivitelezésénél nagy hangsúlyt fektetnek a szigetelésre, hogy megakadályozzák az LH_2 elpárolgását, ugyanis a hőelnyelés következtében az anyag gyorsan tágul. A tartály felrobbanásának, esetleges megrepedésének elkerülése végett szellőztetés szükséges. További bonyodalmat jelent a mérnöki tervezésben, hogy a hidrogén a rosszul hegesztett varratok mentén könnyen szivároghat. Az eddigiekből következtethető, hogy a tartály kialakítása és elhelyezése a jövőben szerves részét fogja képezni a repülőgépek tervezési folyamatainak [4].



3. ábra
Hidrogéntartály lehetséges elvi felépítése (Békési Bertold szerkesztése [4] alapján)

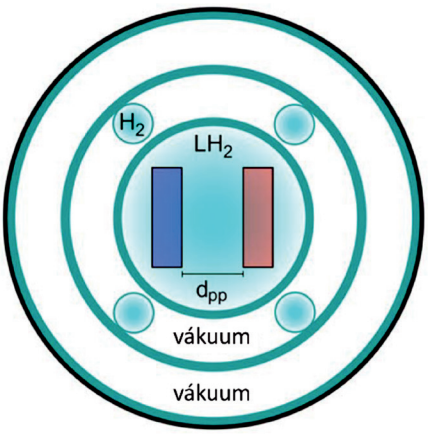
6. A kriogenika alkamazása szupravezetők esetén

Az elektromos légi járművek elterjedése az elmúlt években folyamatosan nő, annak ellenére, hogy jelenlegi hatótávolságuk, hatásfokuk, valamint teherbírásuk meg sem közelíti a fosszilis tüzelőanyagokkal működő repülőgépekét. A felsorolt problémák megoldására pillanatnyilag is kutatások folynak, kisebb nagyobb sikerrel [26].

A teljesítményelektronika kriogén hőmérsékleten való használatának alapvetően két fő okát tudjuk megkülönböztetni: a) az üzemi hőmérséklet csökkentése befolyásolja maguknak

az eszközöknek a működését; b) normál hőmérsékleten való üzemelésnél lényegesen megnőne azon vezetékek hossza, amelyek áramot szolgáltatnának a melegtől a kriogén részekig.

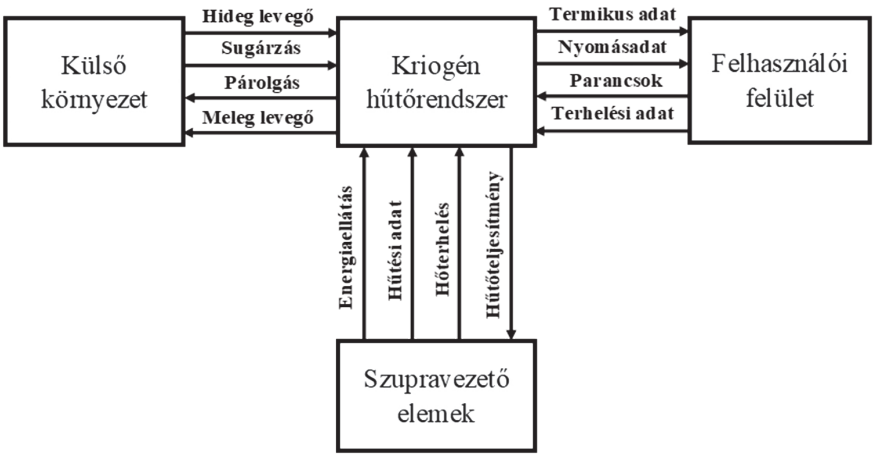
Egy a fenti célokra megfelelő HTS-kábel elvi felépítése a 4. ábrán látható. A kábel legbelső héjában helyezkedik el a két pólus és az őt körülvevő folyékony hidrogén (a d_{pp} jelen esetben a pólusok közti távolságra utal). A középső réteg négy darab csövet tartalmaz, ami lehetővé teszi az elpárolgott hidrogén visszafele történő áramlását. A kriosztát legkülső rétege azon túlmenően, hogy körülveszi a középsőt, mechanikai védelmet biztosít a külső behatásokkal szemben.



4. ábra
Kriogén vezetékek lehetséges elvi felépítése (Békési Bertold szerkesztése [26] alapján)

A szupravezető hálózatok hűtésének alapvetően három lehetséges felosztását különböztethetjük meg (5. ábra):

- Decentralizált: Ilyen esetben a hűtés helyben, közvetlenül történik, így minden rendszerelem egy zárt hűtőkörrel kapcsolódik a kriohűtőhöz;
- Részben központosított: A fő hűtők szolgáltatják a közepes hőmérsékletű hűtőkört, míg a lokalizált kriohűtők biztosítják az üzemi hőmérsékletre való lehűtést;
- Teljesen központosított: A nagy méretű kriohűtő egy zárt körben áramoltatja a hűtőfolyadékot, ami biztosítja a szupravezető üzemi hőmérsékletét [10].

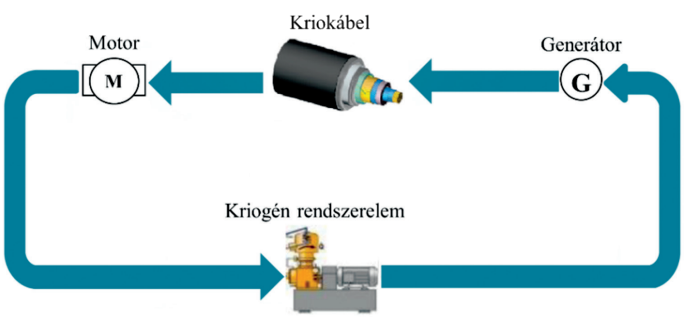


5. ábra
Példa a szupravezető kriogén rendszer felépítésére (Békési Bertold szerkesztése [19] alapján)

Mára már számos lehetséges konfigurációja létezik a HTS-eszközökből álló kriogén rendszereknek. A következőkben négy különböző elvi opciót kívánunk ismertetni az ilyen típusú architektúrák felépítéséről.

1. Integrált kriogén hűtőrendszer három HTS-eszköz soros konfigurációjában:

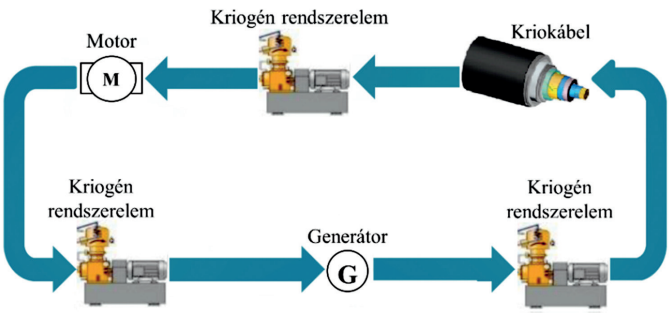
Egy ilyen típusú elképzelés esetén (6. ábra) három HTS típusú áramellátó készülék van sorba kapcsolva egy kriogén rendszerelemmel. Ilyenkor lehetőség van méretezett kriohűtők használatára a megfelelő hűtési teljesítmény, valamint az áramlási sebesség beállításához [10], [29].



6. ábra
Kriogén hűtőrendszer sorba kapcsolása (Békési Bertold szerkesztése [29] alapján)

2. Különálló kriogén elemek a HTS-eszközök soros konfigurációjában:

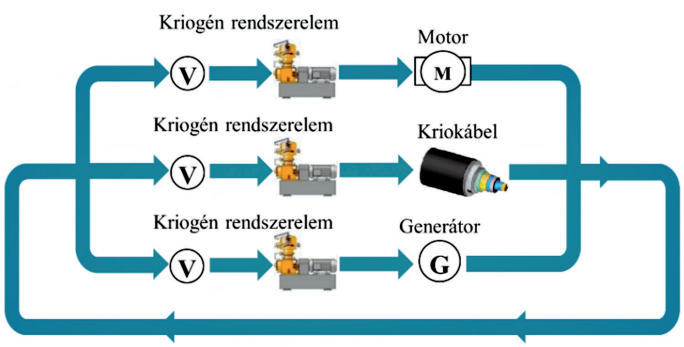
Ahogy az a 7. ábrán is látható, a HTS áramellátó készülékek sorba vannak kötve egy már korábban elhelyezett kriohűtőelemmel. A rendszerben lévő hűtőelemek kapacitása, valamint teljesítménye annyi, hogy azzal még képesek legyenek biztosítani az adott HTS-elem szükséges hűtését [10], [29].



7. ábra
Kriogén elemek a HTS-eszközök soros konfigurációjában (Békési Bertold szerkesztése [29] alapján)

3. Különálló kriogén elemek a HTS-eszközök párhuzamos konfigurációjában:

Ebben az esetben a HTS áramellátó eszközök párhuzamosan csatlakoznak, és minden ág tartalmazza a saját kriogén hűtőrendszerét (8. ábra). Fontos kihangsúlyozni, hogy a különféle tápegységek, különféle hőterheléssel rendelkeznek, így a legnagyobb terhelésű ág rendelkezik a legnagyobb tömegárammal. Abban az esetben, ha a tömegáram egyenlően oszlik el az ágak között, akkor könnyedén előfordulhat, hogy nem lehet a megfelelő hűtési teljesítményt biztosítani az egyes készülékek kívánt üzemi hőmérsékletének fenntartásához. Annak ellenére, hogy ehhez a konfigurációhoz szükséges a legnagyobb számú hűtőelem, az előző példákhoz képest itt van szükség a legalacsonyabb hűtőteljesítményre [10], [29].

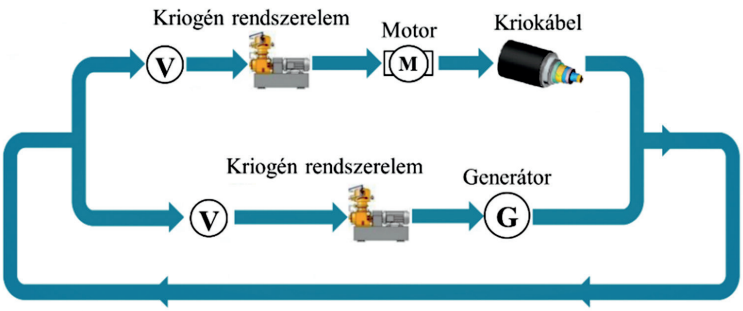


8. ábra
Kriogén elemek a HTS-eszközök párhuzamos konfigurációjában (Békési Bertold szerkesztése [29] alapján)

4. Hibrid rendszer HTS- és kriogén elemek csatolásával

Kriogén rendszerekben egyes áramellátó készülékek működéséhez nincs szükség az elemhez rendelt hűtőre (alacsony hőterhelésüknek köszönhetően), így lehetőség van az első megoldáshoz hasonlóan a motor, a kriokábel, valamint a hűtő sorba kapcsolására. A generátor ilyenkor egy másik hűtővel sorba kapcsolva, párhuzamosan csatlakozik a fentiekben leírt rendszerrészhez (9. ábra).

Az eddigiekből látható, hogy a hűtőkapacitás a konfiguráció változásával módosul, így az ilyen típusú rendszerek optimális beállításának kivitelezését a tervezési fázis alapjaként kell tekinteni [10], [29].



9. ábra
Hibrid rendszer HTS- és kriogén elemek csatolásával (Békési Bertold szerkesztése [29] alapján)

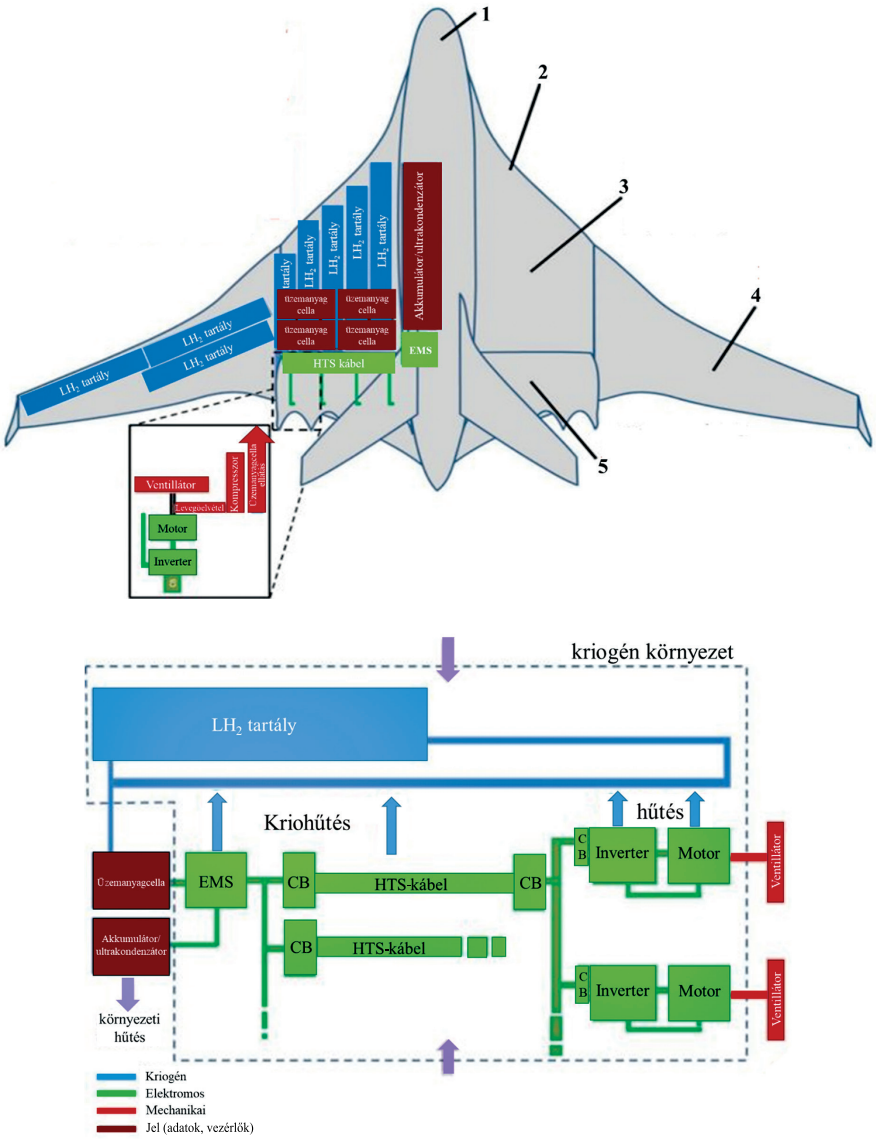
7. Kriogén, nagy hatásfokú elektromos technológiák

Az Illinois-i Egyetem kutatócsoportjának vezetésével és a NASA támogatásával egy teljesen újszerű megközelítés kidolgozása van folyamatban az elektromos rendszerek alkalmazásában. A program, amely a CHEETA *(Cryogenic High-Efficiency Electrical Technologies for Aircraft)* elnevezést kapta, lényegében egy elektromos repülőgépplatform fejlesztésére összpontosít, amely kriogén folyékony hidrogént használ energiatárolási módszerként. A hidrogén kémiai energiáját üzemanyagcellák sorozatának segítségével elektromos energiává alakítják, amely a magas hatásfokú meghajtási rendszert táplálja. Az ultra alacsony hőmérséklet teszi lehetővé különféle szupravezetők alkalmazását, ezzel a „veszteségmentes" energiaátvitelt [8], [11], [17].

A projekt számos általános technikai akadállyal néz szembe, amelyek többsége a kriogén rendszer alkalmazásából eredeztethető. Ilyenek például:

- a kriogén generátorrendszerek megvalósítható teljesítményének megbecsülése;
- a váltakozó áramú alkalmazáshoz megfelelő szupravezető anyagok hiánya, valamint azok pótlása;
- az egyenáramú elosztórendszereknél tapasztalható tranziensek következtében csak az egyenáramot használó tekercs lehet szupravezető;
- olyan méretű rendszerek beépítéséhez, amelyek alkalmasak lennének repülőgépek telepítésébe 1000–1500 Hz kompatibilitású szupravezetőre van szükség;

- a feszültségszabályozás nehezen kivitelezhető a vezetők zérus ellenállása okán;
- a kriogén rendszerek megfelelő üzemi hőmérsékletének biztosítása (minél erősebb a mágneses mező, amelyben a szupravezető anyag működik, annál alacsonyabb kriogén hőmérséklet szükséges);
- a kriohűtőrendszerek biztonsági követelményeknek való megfelelése;
- a kriogén hűtés gyorsasága, valamint a hősokk elviselése [11], [17].



10. ábra
Az Illinois-i Egyetem kutatócsoportjának elgondolása (Békési Bertold szerkesztése [17] alapján)

A 10. ábrán egy teljesen elektromos repülőgépplatformnak a koncepcióvázlatát láthatjuk, amely kriogén folyékony hidrogént használ energiatárolási módszerként. Az ábrán látható számozások és az eddig nem ismertetett rövidítések a következők:

1. A hagyományos törzs kialakítás leegyszerűsíti a tervezés és a gyártás folyamatát;
2. A nagy kiterjedésű fedélzet felel az alacsony összenyomhatósági veszteségekért, vastag szárnyú tárolással;
3. Hibrid sárkánytest-konfiguráció a hatékony aerodinamikai teljesítmény és a nagy energiamennyiség érdekében;
4. Aeroszerkezeti hőoptimalizált szárnykialakítás;
5. A meghajtás és a sárkányszerkezet integrációja biztosítja a BLI-meghajtás hatékonyságának javítását, valamint a zajvédelmet;

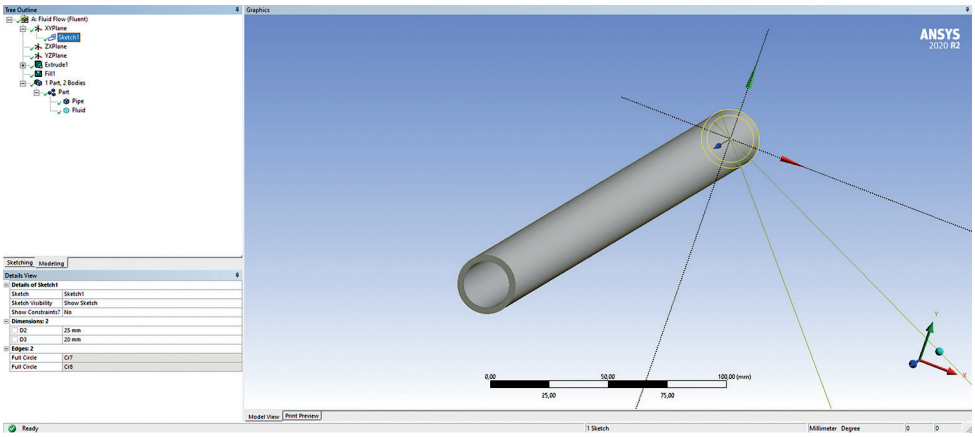
EMS[13] – energiamenedzsment-rendszer; CB[14] – hálózatvédő automata; HTS-kábel[15] [8], [11].

8. Folyékony hidrogén áramlástani szimulációja

Ahogy azt már a bevezetésben is említettük, a különféle rendszerek, valamint a bennük lejátszódó folyamatok modellezése elengedhetetlen a költséghatékonyság, a precizitás, valamint a tervezhetőség szempontjából. Ennek megfelelően mára már számos cég, vállalat alkalmaz olyan szimulációs szoftvereket, amelyek a valósághoz hűen képesek az egyes folyamatok jellemzésére, leírására. A továbbiakban az Ansys segítségével elvégzett szimuláció lépéseit, eredményeit kívánjuk ismertetni.

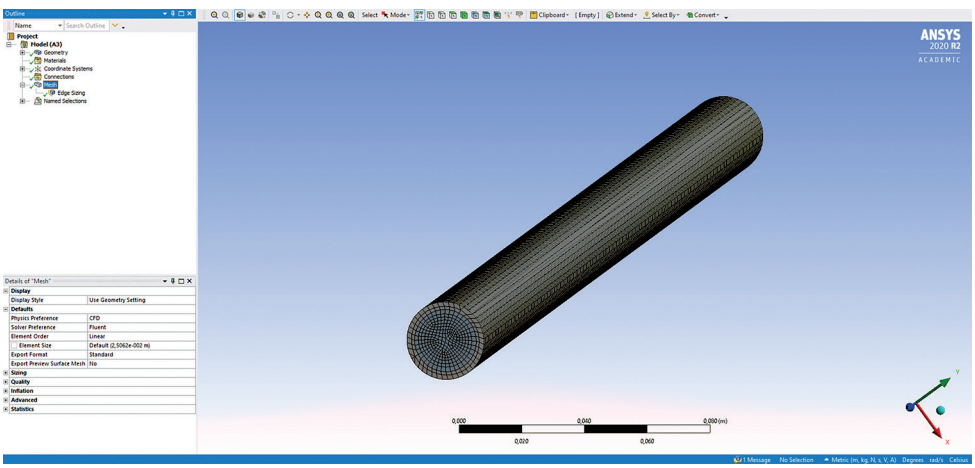
Az Ansys típusú, valamint az ezekhez hasonló numerikus áramlástani szoftverek véges térfogatú módszeren alapulnak. Vizsgálatunknál első lépésként (mint minden esetben) magát a geometriát alkottuk meg, ami jelen esetben az áramlási tér háromdimenziós modellje. A modell megvalósítását az Ansys DesignModeler szoftver segítségével hajtottuk végre, de akár különféle CAD-es programokkal is kivitelezhető lett volna, mivelhogy a szoftver képes felismerni e programok formátumait. A csövet úgy terveztük, hogy 1 m-es hosszúsággal, valamint 5 mm-es falvastagsággal rendelkezzen (11. ábra) [1], [16].

[13] EMS – *Energy Management System:* energiamenedzsment-rendszer.
[14] CB – *Circuit Breaker:* hálózatvédő automata.
[15] HTS Cable – *High Temperature Superconducting Cable:* magas hőmérsékletű szupravezető kábel.



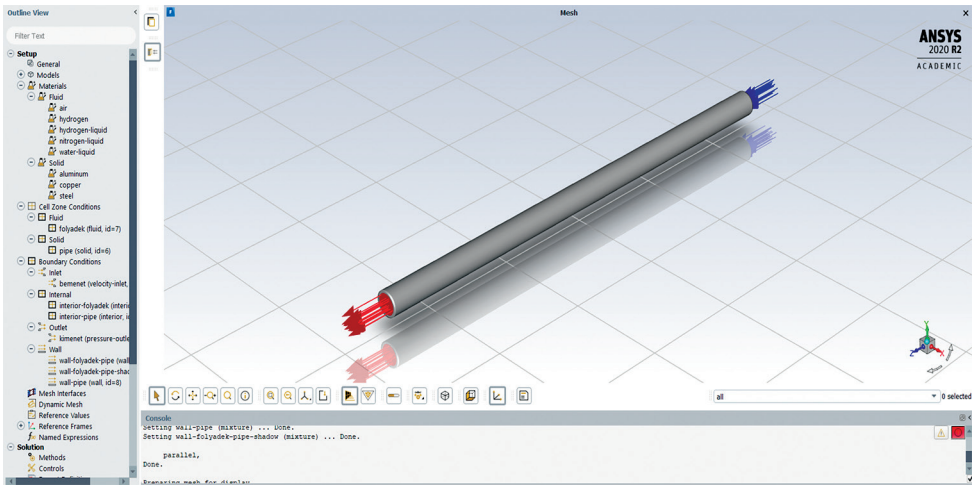
11. ábra
Az áramlási tér háromdimenziós modellje [Sári János szerkesztése]

Következő lépésként a numerikus háló elkészítését, vagyis az áramlási tér diszkretizációját hajtottuk végre. A hálóelemek geometriai komplexitásuktól és méreteiktől függően különbözőek lehetnek (hexaéder, tetraéder, gúla, hasáb). A 12. ábra az általunk készített cső hálózását szemlélteti. A képen látható a hibrid, hexa- és tetraéderes elemeket tartalmazó háló, valamint megfigyelhető a cső kilépési pontjában történő határréteg-sűrítés a pontosabb mérési eredmények végett. A hálózást az élek meghatározásával valósítottuk meg, figyelve arra, hogy a későbbiekben folytatott szimuláció futási ideje lényegesen függ a létrehozott háló összetételétől és kialakításától [16].



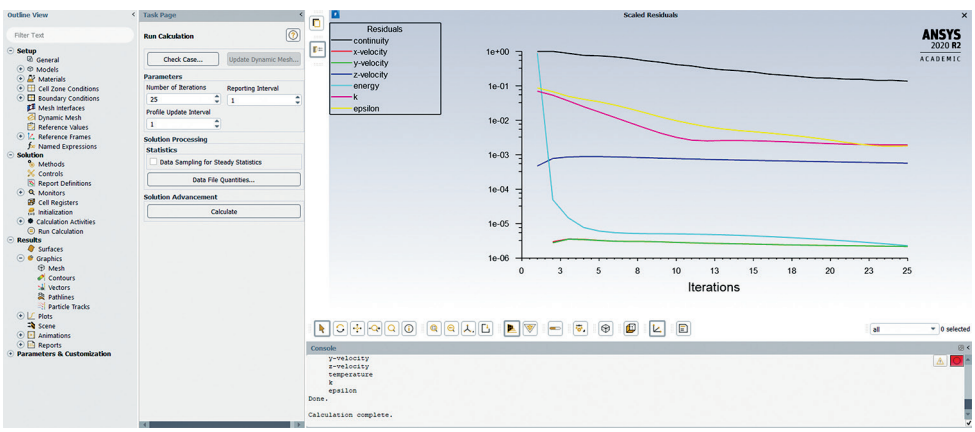
12. ábra
A numerikus háló elkészítése [Sári János szerkesztése]

A hálófüggetlenségi vizsgálatot, valamint annak ellenőrzését követően meghatároztuk a különféle peremfeltételeket, valamint a szimulációra vonatkozó kritériumokat (közegáramlás iránya, anyagtulajdonságok). Ebben a fázisban definiáltuk áramló közegként a hidrogént.



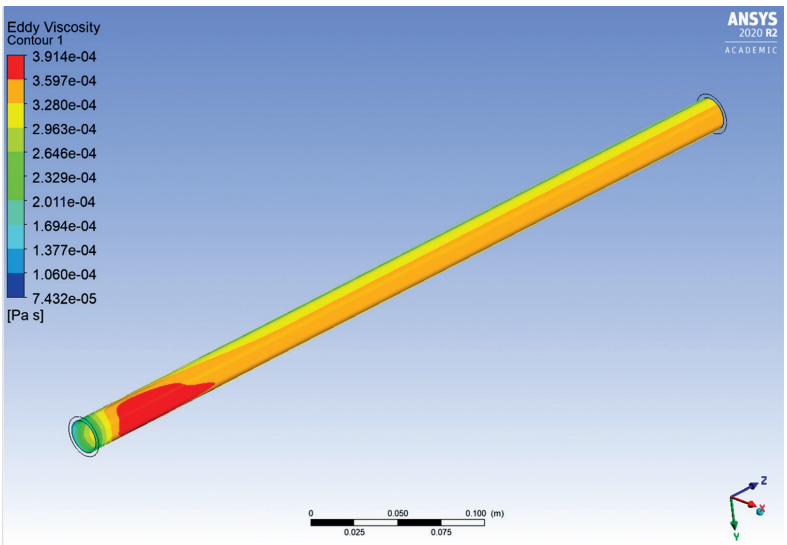
14. ábra
Peremfeltételek megadása Ansys Fluent-ben [Sári János szerkesztése]

A beállítások elvégzése után a megoldó futtatása *(Fluent)* következett, amely során a szoftver az általunk megadott feltételek alapján határozza meg az áramlási térben kialakuló viszonyokat. Ilyenkor a felhasználó beállíthatja az iterációk számát, amit jelen esetben (tekintettel a rendelkezésünkre álló szimulációt futtató laptop képességeire) 25-re állítottunk be, mint ahogy az a 14. ábrán is látható.

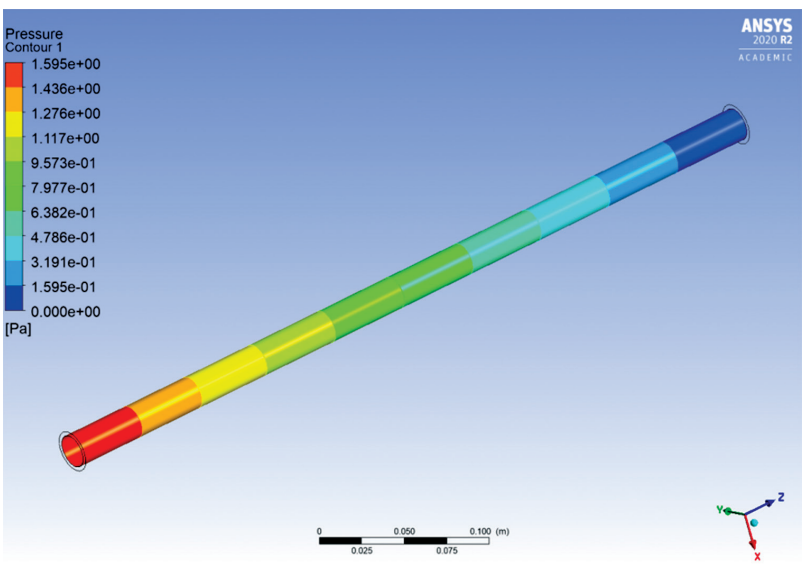


15. ábra
Az áramlási térben kialakuló viszonyok szemléltetése diagramon [Sári János szerkesztése]

A fenti diagramon (15. ábra) megfigyelhető a szimulációs megoldás konvergenciáján túl a hőmérséklet, a sebesség, valamint a nyomáskontúrok változása, izometrikus nézetben. A program továbbá képes az eredmények kiértékelését háromdimenziós nézetben is megjeleníteni, mint ahogy az a 16. és 17. ábrákon is látható.



16. ábra
Az örvényes viszkozitás alakulása a csőben [Sári János szerkesztése]



17. ábra
Nyomásváltozás a csőben [Sári János szerkesztése]

9. Befejező gondolatok

A Covid-19 kitörésének köszönhető csökkent repülőgép-felhasználás, valamint az országok gazdasági helyzetének hatása a repülőgépiparra olyan drasztikus változásokat követelnek, amely a jövő iparának ezen ágazatát a jelenleginél fenntarthatóbbá, költséghatékonyabbá alakítaná át. Számos szakember véleménye szerint a fejlesztési, környezetvédelmi és gazdasági szempontokat figyelembe véve a későbbiekben nem egy vagy kétfajta tüzelőanyagot fognak alkalmazni a repülésben, hanem a légi járművek nagyságát, illetve a hatótávolságát figyelembe véve többet.

Mindemellett kiemelt jelentősége van a légi járművek üzemeltetési rendszerében az emberi erőforrások megfelelő felkészítésének. Az új technológiák bevezetése megköveteli a légi és földi üzemeltetést végző szakemberek korszerű elvek alapján történő felkészítését, valamint a gyakorlati készségek folyamatos, tervezett fenntartását és esetleges fejlesztését [18], [28].

Véleményünk szerint a hidrogént mint tüzelőanyagot, rövid és középtávú repüléseknél, míg az elektromos-akkumulátoros megoldásokat regionális, illetve ingázó járatoknál fogják leginkább alkalmazni a közeljövőben. Természetesen hidrogénüzemű repülőgépek esetén számításba kell venni a kivitelezéshez szükséges átalakítások mértékét (sárkányszerkezet átalakítása, annak tartályokhoz mérten való kiépítése, kiszolgáló infrastruktúrák fejlesztése).

Jelen kutatásunkban a hidrogén felhasználhatóságát vizsgáltuk a repülésben, felhasználva az Ansys multifizikai szoftver előnyös tulajdonságait. Az ilyen típusú szimulációk segítségével a felhasználó viszonylag gyorsan és egyszerűen képes látványos eredményeket kivitelezni, elérni, azonban mindenképpen fontos egy validálási folyamat elvégzése annak érdekében, hogy kijelenthető legyen, hogy a szimuláció megfelel az általa ténylegesen modellezett jelenségeknek [16].

Hivatkozások

[1] A. Ahmad, R. Al-Dadah, S. Mahmoud, "CFD modelling of a novel liquid Nitrogen/Air engine and cryogenic heat exchanger for small scale applications," *Energy Procedia,* vol 142, 3654–3660, 2017. Online: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217359921; DOI: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.258

[2] Frequent Flyers, *Airbus продемонстрировала три варианта водородных самолетов, повторив решения КБ Туполева 1980-х.* 2020. Online: www.frequentflyers.ru/2020/09/21/airbus_zeroe/

[3] A. Minin, *Airbus опубликовал концепцию создания к 2035 году самолетов с нулевыми выбросами за счет перехода на водородный двигатель.* Nasha Moskovia. Online: http://nashamoskovia.ru/news-17039.html

[4] A. Gangoli Rao, F. Yin, H. G. C. Werij, "Energy Transition in Aviation: The Role of Cryogenic Fuels," *Aerospace,* vol. 7, no. 12, 181, 2020. Online: https://doi.org/10.3390/aerospace7120181

[5] Békési B., Juhász M., „Pilóta nélküli légijárművek energia forrásai," *Economica,* 7. évf. 1. sz. 92–100. 2014. Online: https://doi.org/10.47282/ECONOMICA/2014/7/1/4311

[6] Varga B., Tóth J., „A széndioxid, mint a legfőbb ellenség, avagy mi az ICAO által létrehozott CORSIA szerepe ebben a harcban," *Repüléstudományi Közlemények,* 29. évf. 3. sz. 243–252. 2017.

[7] Varga B., Békési L., „»Tényleg nem a méret számít?«, avagy hogyan bünteti a kis méret a helikopter „turboshaft" hajtóműveket," *Repüléstudományi Közlemények,* 26. évf. 2. sz. 81–93. 2014.
[8] "Cryogenic liquid hydrogen to fuel fully electric aircraft? NASA thinks so," *Desing Fax,* vol. 15, no. 19, 2019. Online: www.designfax.net/cms/dfx/opens/article-view-dfx.php?nid=4&bid=897&aid=8414&et=featurearticle&pn=01
[9] Wikiwand, *Cryogenics.* Online: www.wikiwand.com/en/Cryogenics
[10] F. Berg, J. Palmer, L. Bertola, et al., "Cryogenic system options for a superconducting aircraft propulsion system," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,* vol. 101, 012085, 2015. Online: https://doi.org/10.1088/1757-899X/101/1/012085
[11] FuelCellsWorks, *NASA to Develop a Novel Approach for All-Electric Aircraft Using Cryogenic Liquid Hydrogen as Energy Storage.* 2019. Online: https://fuelcellsworks.com/news/nasa-to-develop-a-novel-approach-for-all-electric-aircraft-using-cryogenic-liquid-hydrogen-as-an-energy-storage/
[12] Óvári Gy., Békési B., Fehér K., Az elektromos meghajtású repülés lehetőségei. in *XVIII. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia – 18th International Conference on Application of Natural-, Technological- and Economic Sciences.* Pozsgai A., Puskás J. szerk., Szombathely, 2019. 05. 18. ELTE Savaria Egyetemi Központ, 2020. 23–33.
[13] Óvári Gy., Szegedi P., „Hagyományos repülőgép-üzemanyagok kiváltásának lehetőségei és korlátai," *Hadmérnök,* 5. évf. 4. sz. 16–37. 2010. Online: http://hadmernok.hu/2010_4_ovari_szegedi.pdf
[14] Óvári Gy., „Gázok és villamosság, mint lehetséges repülőgép-üzemanyagok. I. rész," *Haditechnika,* 48. évf. 2. sz. 5–10. 2014.
[15] Airbus, *Hydrogen in aviation: how close is it? Understanding the challenges to widespread hydrogen adoption.* 2020. Online: www.airbus.com/newsroom/stories/hydrogen-aviation-understanding-challenges-to-widespread-adoption.html
[16] Sári J., Beneda K., Kavas L., „Repülőgép hajtóművek égéstereinek áramlástani vizsgálata számítógépes szimulációban," *Repüléstudományi Közlemények,* 32. évf. 3. sz. 93–103. 2020. Online: https://doi.org/10.32560/rk.2020.3.8
[17] Sári J., *Az elektromos meghajtás jelenlegi és jövőbeni alkalmazhatósága a repülésben.* Intézményi Tudományos Diákköri Konferencia, Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, 2020.
[18] Tóth J., „A repülő műszaki tiszti kompetenciák kvalitatív vizsgálata," in *Repüléstudományi Szemelvények,* Békési B., Szilvássy L. szerk., Szolnok Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Intézet, 2016. 177–189.
[19] J. Palmer, E. Shehab, "Modelling of cryogenic cooling system design concepts for superconducting aircraft propulsion," *IET Electrical Systems in Transportation,* vol. 6, no. 3, 170–178. Online: https://doi.org/10.1049/iet-est.2015.0020
[20] Fehér, K., „A repülésben használható korszerű bioüzemanyagok," *Hadmérnök,* 12. évf. 2. sz. 108–122. 2017. Online: http://hadmernok.hu/172_09_feher.pdf
[21] K. Kafantaris, *Boundary Layer Ingestion Propulsion.* National Aeronautics and Space Administration Glenn Research Center, 2019. Online: www1.grc.nasa.gov/aeronautics/bli/
[22] Wikiwand, *Kriogenika.* Online: www.wikiwand.com/hu/Kriogenika#/overview

[23] L. Tamburelli, *The Tupolev which flew on hydrogen 32 years ago.* Private Jet Finder, 2020. Online: http://blog.privatejetfinder.com/tu-155-hydrogen/
[24] M. Strandberg, *Analysis, Simulation and Cryogenic/Mechanical Design for ALMA Band 5 Cartridge.* Göteborg, Sweden, Department for Earth and Space Sciences Chalmers University of Technology, 2011. Online: https://core.ac.uk/download/pdf/70588713.pdf
[25] M. Darecki, C. Edelstenne, T. Enders, et al., *Flightpath 2050 Europe's Vision for Aviation.* Report of the High Level Group on Aviation Research, European Union, 2011. Online: https://doi.org/10.2777/50266
[26] M. Boll, M. Corduan, S. Biser, et al., "A holistic system approach for short range passenger aircraft with cryogenic propulsion system," *Superconductor Science and Technology,* vol. 33, no. 4, 044014, 2020. Online: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6668/ab7779
[27] M. Pial, R. Bayezid, R. Karim, *Electric Aircraft with HTS (High Temperature Superconductor) Motor, Design & Simulation.* BRAC University, 2018. Online: http://dspace.bracu.ac.bd/xmlui/bitstream/handle/10361/10052/14321011,13321083,14321054,14110011_EEE.pdf?isAllowed=y&sequence=1
[28] Szegedi P., Turcsányi K., Tóth J., "Competence-Centered Education of Officers Thoughts about a recent Research of Competencies in Military Aviation Maintenance," *Land Forces Academy Review,* vol. 22, no. 2. 103–109. 2017. Online: https://doi.org/10.1515/raft-2017-0014
[29] S. Satyanarayana, S. Indrakanti, J. Kim, et al., "Coupled Cryogenic Thermal and Electrical Models for Transient Analysis of Superconducting Power Devices with Integrated Cryogenic Systems," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,* vol. 278, 012023, 2017, Online: https://doi.org/10.1088/1757-899X/278/1/012023
[30] Avia Simply, Криогенное топливо в авиации. 2012. Online: http://avia-simply.ru/kriogennoe-toplivo-v-aviatsii/
[31] О. Бахтина, *Airbus удивила прототипами самолетов на водородном топливе.* 2020. Online: https://neftegaz.ru/news/aviatehnika/632380-vodorodnyy-/
[32] Yandex. Ту-155 – единственный советский самолёт на водороде. 2019. Online: https://zen.yandex.ru/media/they/tu155–edinstvennyi-sovetskii-samolet-na-vodorode-5cc16142bdd0e700b379016c

The Applicability of Cryogenics in Modern Aviation

In this article, the authors describe their research activities related to cryogenic systems. After the introduction and the history of cryogenics the cryogenic gases used in aviation are presented, with a detailed analysis of the use of liquid hydrogen. Then we show an example with using a computer software that is able to physically and mathematically model the different kind of fluid flows. Our goal is to provide a comprehensive, easy-to-understand summary of the alternative future of modern aviation.

Keywords: *Cryogenics, Cryogenic systems, Cryo-cooler, Aviation, Hydrogen*

Dr. Békési Bertold alezredes, egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék bekesi.bertold@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-5709-789X	Bertold Békési, PhD Lieutenant Colonel, Associate Professor University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems bekesi.bertold@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-5709-789X
Sári János BSc-hallgató Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék sari.janos1999@gmail.com orcid.org/0000-0001-8861-3300	János Sári BSc student University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems sari.janos1999@gmail.com orcid.org/0000-0001-8861-3300

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
33. évfolyam (2021) 1. szám 157–170. • DOI: 10.32560/rk.2021.1.12

Gajdács László, Palik Mátyás, Dudás Zoltán

Drónok és hagyományos légi járművek közös légtérben történő alkalmazásának repülésbiztonsági kockázatai

Napjainkban egyre növekvő igény jelentkezik pilóta nélküli légi járművek, közismertebb nevükön drónok használatára úgy az állami, mint a polgári célú felhasználásban. Szinte az összes iparágban megjelennek, jelezve ezzel a felhasználásukban rejlő potenciál kiaknázatlan lehetőségeit. Egyértelmű térnyerésük azonban nemcsak új lehetőségeket teremt, hanem komoly veszélyforrás is a nem megfelelő, szabálytalan alkalmazásuk. A cikkben a drónok felhasználásával együtt járó – elsősorban – negatív tényezőket kívánjuk bemutatni és elemezni. Választ keresünk arra, hogy tényleg valós fenyegetést jelentenek-e, illetve milyen kimenetele lehet annak, ha egy drón veszélyesen megközelít egy másik légi járművet, legrosszabb esetben ütközik vele. Vizsgáljuk ezenkívül, hogy milyen módon lehet a veszélyes megközelítéseket és azok végeredményét, az ütközéseket elkerülni, hogy a repülésbiztonság elfogadható szinten maradhasson.

Kulcsszavak: *drón, UAV,*[1] *veszélyes megközelítés, légtér, légtérszerkezet, kockázat, biztonság*

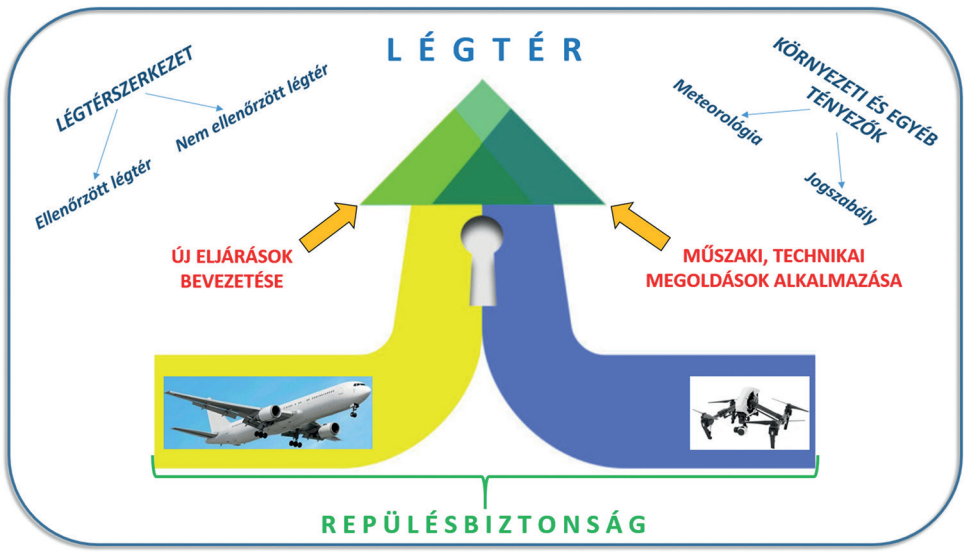
1. Bevezetés

A pilóta nélküli légi járművek egyre intenzívebb jelenléte számos kérdést vet fel, és egyben megoldandó problémákat eredményez, amelyekkel mindenképpen foglalkozni kell. A világon számos eset igazolja azt, hogy a drónok egyre növekvő elterjedése potenciális veszélyforrást jelent a közös légtérben üzemelő légi járművek számára. A drónok gyakran váratlanul jelennek meg, legyenek akár távolról irányított vagy autonóm üzemmódban működők. Sok esetben előre nem prognosztizálható megjelenésükkel, és adott esetben kritikus közelségükkel komoly kockázatot jelentenek a légtérben tartózkodó hagyományos légi járművekre, veszélyt jelentve működésükre. A cikkben a témával kapcsolatban felmerülő különböző kérdésekre próbálunk választ adni, mint például valós fenyegetettséget jelent-e a pilóta nélküli légi járművek növekvő jelenléte a légi közlekedés hagyományos szereplőire.

[1] UAV – *Unmanned Aerial Vehicle:* Pilóta nélküli légi jármű.

2. Drónok megjelenése és hatása a hagyományos légtérszerkezetre

A drónok használatával kapcsolatban felmerülő problémákat és azok egymáshoz viszonyított kapcsolatukat szemlélteti, és egyben összefoglalja az 1. ábra. Ez azt a repülési környezetet mutatja, ahol egymástól jól elszigetelve és biztonságosan kellene együtt alkalmazni a hagyományos, a pilóta által vezetett repülőgépeket és a pilóta nélküli légi járműveket a jövőben. A kitűzött és egyértelműen megfogalmazott cél egy egységes légtérszerkezetben történő, biztonságos üzemelés mindkét technológia esetében.



1. ábra
Drónok repülési környezetbe történő integrálását befolyásoló tényezők és hatások [a szerzők szerkesztése]

Ebben a cikkben alapvetően három fő témával foglalkoznak a szerzők: a légtér kapcsolata a drónokkal és a pilóta által vezetett légi járművekkel, az új eljárások bevezetésének lehetősége, illetve a már meglévő műszaki és technikai megoldások felvázolása és vizsgálata.

Az adminisztratív eljárások, megoldások között mindenképpen meg kell említeni az UTM[2]-rendszert, ami egy új, nemzetközi elgondolás a drónforgalom kezelésére, amely elsősorban az alacsony magasságon közlekedő drónok forgalmát hivatott szabályozni. A jelenleg még tervezés alatt álló rendszer tartalmazná a megfelelő légtérszerkezetek és légi folyosók kialakítását és többek között a dinamikus GeoFencing és GeoCaging létrehozását. A GeoFencingen egy olyan virtuális „kerítést" értünk, amely egy területet vagy egy objektumot határol körül, amelyet a drónok nem repülhetnek át. A GeoCaging pedig az előző módszer ellentéte, amikor is egy drónt „bezárnak" egy adott, a számára kijelölt légtérrészbe, amelyből nem repülhet ki, tevékenységet csak ott folytathat. A rendszer egyik fő célja az, hogy maga a drónforgalmi

[2] UTM – *Unmanned (aerial system) Traffic Management:* Pilóta nélküli légiforgalomkezelő-rendszer.

irányítás automatizáltan működhessen, emberi erőforrást csak kismértékben használna, azt is csak a rendszer üzemben tartásához.

A hazai drónforgalom kezelésében az adminisztratív eljárások fejlesztését tekintve is komoly célokat tűzött ki a HungaroControl,[3] amely a korábban említett UTM-rendszer részeként működne. A cég kifejlesztette és létrehozta a MyDroneSpace alkalmazást, amelylyel könnyebbé, átláthatóbbá és alkalmazhatóbbá kívánja tenni a drónok jogszabály szerinti használatát a felhasználók számára [4].

3. Pilóta által vezetett és a pilóta nélküli légi járművek jelenléte a légtérben, ennek kockázati elemzése

A pilóta nélküli repülőgépek légi közlekedésébe történő integrálásának egyik fő problémája az, hogy nincs a fedélzeten pilóta, így nem feltétlenül van fedélzeti „légihelyzet-információnk" a repülés folyamán látottakról. Ennek oka, hogy nem minden drón fedélzetén van képalkotó eszköz, kamera. Ha azonban van, akkor sem tudja minden esetben helyettesíteni az ember által gyűjtött információk sokaságát, főként azért, mert számos eszközön a fedélzeti kamera statikus helyzetben van – azaz nem fixen van rögzítve a fedélzeten –, vagy csak függőleges irányban mozdítható. A teljes vizuális 360°-os látáshoz viszont a repülőgép helyzetét, forgási irányát kell megváltoztatni, ami időbe telik, ezért az információk csak késve jelennek meg a döntéshozó rendszer vagy személy számára. Az ilyen légi járművek így nem vagy csak korlátozottan képesek végrehajtani olyan utasítást, amihez vizuális látás lenne szükséges, például idegen légi jármű jelenlétének érzékelését [1].

Továbbiakban nézzük meg, mit is értünk a légtér fogalmán. „A légtér egy olyan erőforrás, amely bárki számára igénybe vehető olyan feltételek mellett, amelyet az adott állam a légtér igénybevételéhez meghatároz [1995. évi XCVII. Törvény a légi közlekedésről; 4/1998. (I. 16.) Korm. rendelet]." Másképpen értelmezve egy olyan terület, amely az adott állam földrajzi területe felett helyezkedik el, amelyet nem lehet fizikailag jól látható módon megjelölni. Ezen a területen történő légi közlekedésben részt vevő szereplőket (légtérfelhasználók) egyrészt hazai és nemzetközi jogszabályok betartása alapján üzemelteti az adott állam, amely terület alapvetően az érintett ország szuverenitását is jelképezi [2, 40].

Magyarországon a légtérben közlekedni kívánó légi járművek állami célúak (honvédelmi, vámhatósági, rendőrségi és a határőrizeti szervek célját szolgáló légi járművek) és polgári célúak lehetnek. Az UAV-k megjelenésével egyben adódott a hatósági szervek számára egy új kihívás, miszerint egyre növekvő jelenlétükkel változásokat kell alkalmazni a légi közlekedés rendszerében. A drónok üzemeltetése kapcsán is elvárt, hogy megfeleljenek a különböző repülési szabályoknak (VFR[4] és IFR[5]).

Ennek érdekében az Európai Unió (EU) tagállamainak közös érdeke egy egységes jogi szabályozás létrehozása, amely szabályozott és irányított módon a „hagyományos" légtérbe integrálja a drónokat, ezáltal biztosítja azok és felhasználói számára a repüléshez való lehetőséget [3].

[3] HungaroControl – Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt.
[4] VFR – *Visual Flight Rules:* Látvarepülési szabályok.
[5] IFR – *Instrumental Flight Rules:* Műszeres repülési szabályok.

A drónok a légtérbe integrálásának egyik lehetséges módja lehet az úgynevezett adminisztratív megoldások alkalmazása, amelyek különböző szabályozások együttes használatával biztonságos üzemeltetést ígér a légtérben kis magasságokon közlekedő drónok számára [4].

A drónok az egységes légtérrendszerbe történő integrálásával kapcsolatban három fő cél követendő, amelyek az alábbiak:

- A pilóta nélküli légi járművek nem veszélyeztethetik a többi légtérfelhasználót;
- Az ATM[6]-eljárásoknak tükrözniük kell a drónokra alkalmazandó eljárásokat;
- A pilóta nélküli repülőgépek felé irányuló légi forgalmi szolgáltatásoknak átláthatónak kell lenniük az ATC[7] irányítói számára [5].

4. Hazai és nemzetközi esettanulmányok vizsgálata repülésbiztonsági szempontból

A drónok elsősorban nem szabályszerű és nem jogszerű használatából adódóan számtalan eset történt és történik napjainkban is világszerte, amelyeknek igen jelentős információtartalmuk és jelzésük van a társadalom felé. A 2. ábrán a különböző helyeken megtörtént esetek láthatók. Ezen esetek vizsgálatából, megítélésem szerint számos hasznos információt tudhatunk meg az incidensek körülményeivel kapcsolatban.

2. ábra
Drónincidensek statisztikai szemléltetése világszerte [6]

Az FAA[8] közleménye szerint csak az Amerikai Egyesült Államokban havonta több mint száz bejelentést kapnak illegális és egyben veszélyes dróntevékenységekről [7].

A hatóságok világszerte felhívják a drónokat üzemeltető társadalom résztvevőit, hogy fokozottan tilos ezeket az eszközöket repülőgépek földi légi környezetében és az őket kiszolgáló infrastrukturális létesítmények környezetében üzemeltetni. Ebből megfigyelhető az,

6 ATM – *Air Traffic Management:* Légi forgalmi szolgáltatás.
7 ATC – *Air Traffic Control:* Légi forgalmi irányítás.
8 FAA – *Federal Aviation Administration:* Szövetségi Légügyi Hivatal.

hogy két fő problémával küzdenek a hatósági szervek és az incidensben részt vevő szereplők. Az egyik a földi létesítmények (magánterületek, ipari létesítmények stb.) megzavarása pilóta nélküli légi járművekkel. A másik fő probléma a repülésben részt vevő hagyományos légi járművek megzavarása a drónokkal. Mindkét esetben kijelenthető, hogy vagy szándékos, vagy véletlenszerű zavarásokról van szó, ami viszont közös az említett zavarási formákban, hogy potenciális veszélyforrást jelentenek a környezetükre.

A repülésbiztonság minél magasabb szinten való tartása nélkülözhetetlen a légi közlekedésben részt vevő légi járművek, valamint a velük szoros kapcsolatban lévő repülőterek és kiszolgáló szervezetek számára.

A repülésbiztonságot az egyik legjobban befolyásoló tényező az emberi tényező. Különböző repülőesemények igazolják ennek a felvetésnek a tényét és igazát.

A légi közlekedésben részt vevő légi járművek környezetében számos tényező kialakulhat, amely a legtöbb esetben nem determinisztikusan (előre jelezhető), hanem sztochasztikusan (véletlenszerű) jelentkezik. Meg kell ismerni, hogy milyen lehetséges veszélyforrások léteznek, milyen méretű ezeknek a veszélyeknek a nagysága, súlyossága és a várható események bekövetkezésének a valószínűsége. E két utolsó tényező adja meg a kockázatkezelés alapját. Ehhez még párosul a veszélyeztetettség mértéke, amely megmutatja számunkra, hogy a személyzet és a repülőeszköz milyen mértékben van kitéve a veszélynek. A 3. ábrán a drónok megjelenéséből adódó kockázatot mint mérhető és mérendő faktort szemléltetjük.

3. ábra
Drónok jelenlétének kockázatértéke a repülésben [a szerzők szerkesztése]

Nagyon fontos megállapítás az, hogy ha nem ismerjük a veszélyt, akkor kezelni sem tudjuk megfelelő időben az ismeretlen veszéllyel járó kockázatot. Ennek következményeként a repülésbiztonság egyértelműen csökkeni fog, aminek eredményeként különböző repülőesemények, katasztrófák következhetnek be.

A repülésbiztonságot befolyásoló tényezők három nagy csoportra oszthatók:

1. Objektív tényezők:
   Ilyen tényezőknek nevezünk minden olyan körülményt, amely emberi beavatkozás nélkül közvetve vagy közvetlenül befolyásolja a repülést. Idesorolandók a környezeti tényezők, anyagi tényezők (például repülőtechnika).

2. Szubjektív tényezők:
   Ez a csoport az emberi tényezőket foglalja magában, amely alá különféle egyéni és szervezeti jellemzők tartoznak, és ezek részlegesen vagy együttesen hatással vannak a repülésbiztonságra.
3. Rejtett vagy fel nem fedett tényezők:
   Ezek általában előre nem azonosíthatók, ami egyben azt is jelenti, hogy szinte képtelenség előre jelezni őket. Sok esetben az ilyen tényezőkből kialakult repülőesemény pontos oka ismeretlen marad a hatósági szervek előtt [8, 2–5].

Az emberi tévedés a legtöbb esetben elkerülhetetlen. Csökkenthető, de teljes mértékben nem lehet kizárni hatását a különböző feladatok ellátását illetően. Minden ember követhet el hibát – függetlenül nemtől, képességtől stb. –, ami kifejezetten veszélyes lehet azok számára, akik a repüléssel kapcsolatos bármely területhez kapcsolódnak. Az ember mint munkaerő forrása tökéletesen tud alkalmazkodni a mindennapi munkával kapcsolatos körülményekhez, de egyben hibaforrásként is tekinthető jelenléte számos esetben. Az embertől származtatható hiba két irányból vizsgálható. Az egyik a személyszemléletű, a másik pedig a rendszerszemléletű. A személyszemlélet irányából megvizsgálva az emberi tényezőt egyéni hibákkal találkozhatunk (például figyelmetlenség, meggondolatlanság stb.). A rendszerszemléletű hiba esetén a tény az, hogy az ember hibára képes még a legkomolyabb szervezeteknél is [1], [9].

Az sUAS[9] drónok hatékony és biztonságos integrálása a hagyományos légi járművek környezetébe jelentős kihívásokat jelent a különböző hatósági szervek számára. Ennek előkészítése és alkalmazhatóságának, vizsgálatának kutatásai napjainkban is folynak. Összegyűjtik a különböző incidensekből, balesetekből adódó adatokat. Továbbá vizsgálják azt, hogy milyen tényezők (műszaki meghibásodások, emberi tényező) játszanak szerepet az események megvalósulásában, majd ezeket az információkat, következtetéseket összegzik [10].

Az Európai Unió repülésbiztonságért felelős szervezete (EASA)[10] is kiemelten figyeli és kezeli a drónok jelenlétét a különböző minősítésű légterekben. 2016-os *Drone Collision Task Force* című jelentésükben ismertetik a különböző légterekben elkövetett incidensek adatait, illetve következtetéseket vonnak le ezekből. Vizsgálatuk során különféle javaslatokat tesznek annak érdekében, miként lehetne integrálni a pilóta nélküli légi járműveket az EU tagállamainak a légtereibe a „hagyományos légi közlekedésben részt vevők" (pilótával vezetett légi járművek) mellé. Vizsgálatukat nemcsak az esetek gyakorisága teszi ki, hanem külön-külön megvizsgálják az eset körülményeit, például milyen távolságban közelített meg egy drón egy másik pilótával vezetett repülőgépet. Az eseteket kivizsgálva az eredmények azt mutatták, hogy a drónok mintegy 2000 m magasságig voltak észlelhetők, sok esetben csak pár száz méteres távolságra az érintett légi járműtől. Az esetek gyakoriságából és az adatokból jól látható, hogy igen kritikus, egyben kockázatos tevékenységekkel állunk szembe világszerte, amelyet mindenképpen kezelni kell tudnunk [11].

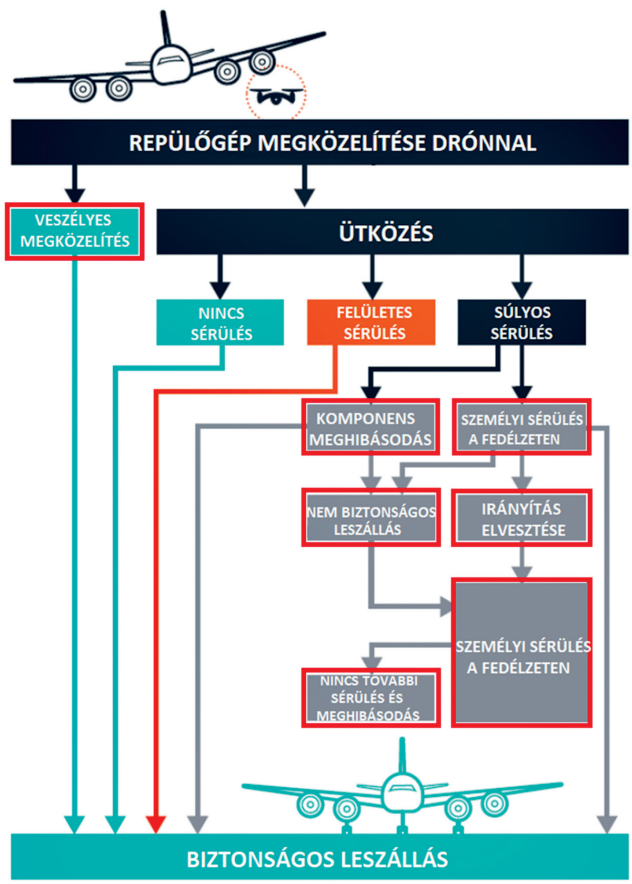
[9] sUAS – *Small Unmanned Aircraft System:* Kis méretű pilóta nélküli rendszer.
[10] EASA – *European Union Aviation Safety Agency:* Európai Unió Repülésbiztonsági Ügynöksége.

5. Légi járművek drónokkal történő veszélyes megközelítésének lehetséges következményei

Az Egyesült Királyság Polgári Légügyi Hatósága által közzétett, a drónok biztonsági kockázatáról szóló jelentésében különböző forrásból begyűjtött adatokból – ilyenek például: repülőgép-vezetők által jelentett dróntevékenységek észlelése – összegezte és felvázolta a különböző eshetőségeknek a tényét, amelyek közül bármelyik bekövetkezhet egy pilótás és egy pilóta nélküli repülőgép közvetlen vagy közvetett találkozásakor. A feldolgozott és vizsgált események kapcsán az érintett drónok 2 kg vagy annál kisebb tömeggel rendelkeztek.

Egy pilóta által vezetett légi jármű megközelítése egy drónnal különféle forgatókönyveket eredményezhet a repülésük folyamán. Ezeknek a forgatókönyveknek bármelyik változata kiemelt kockázatot jelent, és különböző súlyosságú következmények születhetnek belőlük.

A 4. ábrán a lehetséges események lefolyásai láthatók, amelyek akkor történhetnek meg, ha egy drón veszélyesen közel kerül egy repülőgéphez, vagy esetleg össze is ütközik vele.



4. ábra
Repülőgép és drón összeütközésének lehetséges végkimenetelei (a szerzők szerkesztése [12] alapján)

A különböző módon és időben lezajló lehetséges folyamatokat külön-külön kell vizsgálni, hiszen végeredményeit tekintve más és más súlyosságú eredményt jelentenek.

Nyilvánvalóan a legsúlyosabb eseménynek az tekinthető, ha egy drón ütközik egy utasszállító repülőgéppel, aminek következtében az utasokkal a fedélzetén, az esemény miatt lezuhan. Az ütközés súlyosságát alapvetően az határozza meg, hogy a drón a repülőgép melyik részével, mely szerkezeti elemével ütközik, és annak milyen egyéb következményei lesznek a repülőgép levegőben maradására.

Megállapították, hogy egy esetleges ütközés a pilótával vezetett repülőgép melyik részét érintheti a legnagyobb valószínűséggel:

- szélvédő, orrkúp;
- hajtóművek, légcsavarok;
- szárnyaknak és a vízszintes vezérsíknak a belépőélei;
- repülésvezérlő kormányszervek.

Az előzőekben felsoroltak közül bármelyik rész vagy elem sérülése okozhat vissza nem fordítható folyamatokat, amelyek részben vagy egészében anyagi károkat, személyi sérüléseket vagy adott esetben emberi áldozatokat is eredményezhetnek.

A tanulmányból egyértelműen kiérződik az, hogy a drónokkal kapcsolatban az egyik legnagyobb probléma az, hogy azok jelenléte nehezen érzékelhető a pilóták által vezetett repülőgép fedélzetén, így adott esetben a váratlan találkozások meglepetésszerűen történnek, ezáltal óriási próbatételnek teszik ki az érintett pilótákat [12].

6. Légi járművek összeütközését megakadályozó műszaki megoldások

Ahhoz, hogy egy a levegőben lévő légi jármű biztonságosan tudjon közlekedni – legyen szó pilótás vagy pilóta nélküli repülőgépről –, elengedhetetlen, hogy az érintett repülőgép információval rendelkezzen a körülötte működő légi járművekről, azok számáról és helyzetéről. Ezenfelül ahhoz, hogy a légtérben közlekedő kettő légi jármű ne közelítse meg veszélyesen egymást, információ szükséges az őket irányító személyek számára is. Ezek az információk megítélésünk szerint három helyről érkezhetnek a fedélzetre vagy az operátor számára. Az egyik a pilótás gép fedélzetén elhelyezett összeütközésre figyelmeztető rendszer, például ACAS,[11] TCAS,[12] a másik a drónok fedélzetén elhelyezett összeütközésre figyelmeztető rendszer, illetve származhatnak egyéb, külső forrásból (légi forgalmi irányító szolgálat) [13, 93–95].

A kis- és nagygépes pilóta által vezetett repülésekben már alkalmaznak olyan műszaki rendszereket, amelyek két hagyományos repülőgép összeütközésének elkerülését szolgálják. Viszont ezek a rendszerek nem képesek a drónok jelenlétét érzékelni sem a földön, sem pedig a levegőben. Így a levegőben lévő drónok jelenlétéről, mozgásáról, térbeli helyzetéről nincs információ a pilóta által vezetett repülőgépek fedélzetén.

[11] ACAS – *Airborne Collision Avoidance System:* Légi összeütközés-elhárító rendszer.
[12] TCAS – *Traffic Alert Collision Avoidance System:* Légi forgalmi összeütközések elkerülésére figyelmeztető rendszer.

A levegőben történő ütközés elhárításának az egyik alapvető eleme az érzékelés, amelynek kulcsfontosságú szerepe van egy ilyen védelmi rendszerben. Ha nem látjuk a mozgó tárgyat a környezetünkben, akkor nagy valószínűséggel nem is tudunk elkerülni egy esetleges ütközést.

A levegőben érzékelni egy idegen légi jármű jelenlétét, nyomon követni és szükség esetén kitérő manőverrel elkerülni az ütközést elengedhetetlen a biztonságos légi közlekedésben. Ezek összeségében történhetnek ember érzékszerveire és megítélőképességeire hagyatkozva, továbbá külső irányítás segítségével (amennyiben látható egy idegen légi jármű jelenléte), illetve valamilyen műszaki rendszer segítségével. Ez utóbbi esetben vagy valamilyen szenzorok alkalmazásával egyfajta automatikusan működő rendszerről beszélünk, vagy egy olyan rendszer alkalmazásáról, amely egészen kis méretű drónok jelenlétét is hivatott érzékelni. Jelenleg a kereskedelmi forgalomban kapható drónérzékelő, nyomon követő és adott esetben hatástalanító rendszerek kialakítását és telepítését a földön, valamilyen infrastrukturális létesítmény környezetében építik ki, amely egy adott környezetet lefedve szolgáltat információt a térségben repülő drónokról. Ilyen rendszerek például: MADDOS;[13] AARTOS;[14] ROBIN[15] radarrendszer stb.

Az az igény, hogy információval rendelkezzünk a pilóta nélküli repülőgépek levegőben jelenlétéről és mozgásukról, kiemelten fontos az egyéb légtérben közlekedő légi járművek számára. Ehhez valami olyan rendszer megvalósítására van szükség, amely a fedélzeten jelzi az „idegen légi járművek" jelenlétét [14].

Az akadályok elkerülésének képességével a drónok biztonságosabban tudnak repülni. A probléma az, hogy nem egyformán tudunk kis méretű mozgó tárgyakat és nagyobb méretűeket érzékelni. A különböző gyártók már használnak a fedélzeten statikus (álló) akadályok elkerülését szolgáló rendszereket, de dinamikus (mozgó) akadályok elkerülése ennél jóval bonyolultabb kihívást jelent technológiailag [15].

Már létezik a drónok fedélzetére telepíthető olyan rendszer, amely lehetőséget biztosít a drónok számára, hogy a fedélzeten érzékeljék „idegen" légi járművek jelenlétét (Casia by Iris Automation). A rendszer működése a fedélzetre elhelyezett kamerák képi adatainak a feldolgozásán alapul, amelynek lényege, hogy érzékelje a „mozgó tárgyak" jelenlétét a fedélzetre telepített drón környezetében.

A jelenlegi műszaki megoldások is igazolni kívánják azt, hogy az egyik legkedvezőbb idegen mozgó tárgyak érzékelési módja a fedélzeten, az elektrooptikai rendszerek lehetőségeiben és fejlesztéseiben rejlik [16].

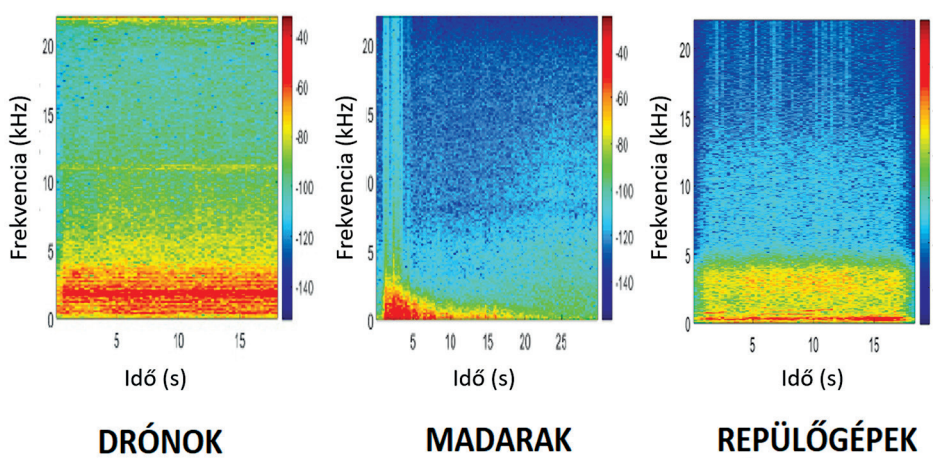
Egy mozgó célpont nevezetesen egy pilóta nélküli légi jármű felderítése, azonosítása egy másik repülőgépről nem egyszerű feladat. Pilóta nélküli repülőgépek méretük és anyagszerkezetük miatt még nagyobb kihívást jelentenek a különböző gyártó cégek fejlesztőmérnökeinek, hogy érzékelni és nyomon követni lehessen egy éppen repülő légi jármű környezetében egy másik mozgó tárgyat, nevezetesen egy drónt. Ami egy pilótával vezetett repülőgép személyzete számára fontos kérdés, hogy mi és milyen irányban mozog

[13] MADDOS – *Multi-Sensor Automatic Drone Detection System:* többérzékelős automatikus drónészlelő rendszer.
[14] Aaronia AARTOS DDS – *Aaronia Advanced Automatic RF Tracking and Observation Solution Drone Detection System:* Drónészlelő és nyomonkövető rendszer.
[15] *Robin Radar System:* Robin radarrendszer.

a repülőgépük környezetében. Különböző rendszerek, különféle mozgó célpontok felderítésére hivatottak, amelyek az alábbi módon érzékelhetők:

- akusztikai felderítés;
- elektromágneses hullámtartományban történő felderítés:
  - rádiójel kisugárzása alapján működő rendszerek;
  - radarrendszerek (aktív, passzív);
  - elektrooptikai rendszerek.

Az akusztikai felderítés az egyik legrégebbi módszer légi járművek detektálására. Kezdetekben a légi járművek motorzaját értékelték, majd a zaj intenzitásának az erősségén keresztül becsülték meg a légi jármű irányát és távolságát. Előnye többek között, hogy napszaktól függetlenül érzékelni lehet egy mozgó célpontot. Különböző elektroakusztikai eszközök segítségével különböző távolságokból jól érzékelhetők mozgó légi járművek, így a pilóta nélküli repülőgépek motorjai által keltett jellegzetes hang még zajos környezetből is kiszűrhető [17]. A levegőben mozgó különböző tárgyaknak az érzékelése (drónok, madarak, repülőgépek) más és más frekvenciatartományon mutatható ki. Az 5. ábrán a drónok, madarak és repülőgép hangmintáinak spektrogramjai láthatók. A spektrogram a hangok ábrázolásának egy olyan módja, amely az idő függvényében tünteti fel a hangok frekvenciáját. Például a drónok esetén megfigyelhető körülbelül 2,4 kHz-nél egy jellegzetes piros vonal, amely a többi hangminták spektrogramjain nem látható. Ez azt jelenti, hogy a drónok meghajtásának zajfrekvenciájából adódóan keletkezik egy olyan rájuk jellemző hangfrekvencia-tartomány, amely mérhető, azonosítható, és amit egyben nem lehet összetéveszteni más mozgó tárgyak hangmintáival, például a madarak által keltet frekvenciaértékekkel.



5. ábra
Mozgó tárgyak hangmintáinak spektrogramjai (a szerzők szerkesztése [18] alapján)

Az elektromos hullámok tartományában történő felderítés technológiái külön-külön vagy akár egymást kiegészítve képezik a különböző földi és légi telepítésű (repülőgépek fedélzetén

elhelyezett rendszerek például FLARM-[16]) rendszerek mozgó tárgy feltérképezését szolgáló rendszereket. Alapvető működésük abban rejlik, hogy a drónok fedélzetén elhelyezkedik valamilyen aktív sugárzó berendezés (telemetria-adatok, képi adatok, videóadatok, egyéb műszaki paraméterek továbbítása a földi rendszernek), amit érzékelve nyomon lehet követni a légi jármű térbeli tartózkodását, mozgását, valamint mozgásának irányát [17].

Napjainkban elterjedtek olyan műszaki megoldások, amelyek alapvetően másodlagos információforrásokat jelentenek. E rendszerek működési alapjait a globális helymeghatározó rendszerek szolgáltatják, ennek segítségével biztosítanak információt a légi járműveknek, hogy milyen mozgó „idegen" légi járművek vannak a környezetükben.

Az utóbbi időben a különböző műszaki megoldásoknak (OGN,[17] ADS-B[18]) köszönhetően már nemcsak a radar alapú rendszerek alkalmasak helyzetiinformációk meghatározására és közvetítésére, hanem különféle újabb műszaki megoldások is lehetőséget biztosítanak erre [19].

7. Összegzés

A pilóta nélküli légi járműveket érintő jogszabályi környezetet megteremtő hatósági szerveknek nincs könnyű dolga a drónok mint „új" légtérfelhasználók egységes légtérszerkezetbe integrálásával. Megállapítható, hogy komoly kihívást jelentenek a drónok úgy a földi, mint a légi környezetükben történő biztonságos alkalmazásuk során, amelyek közül is kiemelt kockázatai vannak a repülőterek környezetében megvalósuló manővereknek [20], [21]. Továbbá az is megállapítható, hogy fontos lenne, ne csak a pilóta által vezetett repülőgép személyzetei – és az őket irányító légiforgalmi szolgálatok – tudjanak információt egymásról a repülés folyamán, hanem információval rendelkezzenek az egyéb a környezetükben közlekedő légi járművek, nevezetesen a drónok hollétéről is. Ezeket együttesen, és megítélésünk szerint hatékonyan lehetne alkalmazni különböző, esetleg már meglévő eljárásrendszerek átdolgozásával és/vagy új eljárások bevezetésével. Továbbá mindenképpen célszerű lenne alkalmazni a fedélzeten olyan műszaki rendszereket, amelyek a saját és idegen légi járművek helyzetét is hivatottak érzékelni és jelezni, úgy a fedélzeten, mint a földön egyaránt, legyen szó pilótás vagy pilóta nélküli légi járművekről.

Hivatkozások

[1] Halászné dr. Tóth A., „A pilóta nélküli légijárművek repülése a jogi szabályozás tükrében," in *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*, Palik M. szerk., Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013. 173–192.

[2] Palik M. szerk., *A repülésirányítás alapjai.* Budapest, Dialóg Campus, 2018.

[16] A FLARM („riasztáson alapuló rövidítés") egy elektronikus eszköz neve, amelyet arra használnak, hogy figyelmeztesse a kisrepülőgépek pilótáit, különösen a vitorlázó repülőgépeket, más hasonló felszerelésű repülőgépekkel való esetleges ütközésekre.

[17] Az *Open Glider Network* célja a vitorlázó repülőgépek, drónok és más repülőgépek egységes nyomkövető platformjának létrehozása és fenntartása.

[18] Az ADS-B-rendszer segítségével a légi járművek adatkapcsolaton keresztül automatikusan továbbíthatnak és/vagy fogadhatnak adatokat, például azonosítási, helyzet- és kiegészítő adatokat.

[3] Palik M. szerk., *A pilóta nélküli légijárművek jelenlegi jogszabályi, technikai és működési feltételeinek légi közlekedés biztonságára gyakorolt hatásai (alapkutatás az UAV_LAW Kiemelt Kutatási Területhez).* Budapest, NKE Szolgáltató Kft., 2015.
[4] Csengeri J., „A drónforgalom és a drónfenyegetések rendszerszintű kezelésének lehetőségei," *Repüléstudományi Közlemények,* 31. évf. 3. sz. 8–9. 169–186. 2019. Online: https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz/article/view/251/2802
[5] B. M. Artacho, *Unmanned Aircraft System (UAS) Integration to Airspace and Collision Risk Assessment.* Saint Johns, New Foundland, Faculty of Engineering and Applied Science Memorial University of Newfoundland, 2018. Online: https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34987.80160
[6] Dedrone, *Worldwide Drone Incidens.* Online: www.dedrone.com/resources/incidents/all
[7] Federal Aviation Administration, *UAS Sightings Report.* Online: www.faa.gov/uas/resources/public_records/uas_sightings_report/
[8] Dudás Z., „Az információ fontossága a repülésbiztonságban," *Repüléstudományi Közlemények,* 2. sz. 1–10. 2005. Online: www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2005_cikkek/dudas_zoltan.pdf
[9] J. Reason, *Human Error.* Cambridge, Cambridge University Press, 1990.
[10] C. M. Belcastro, R. L. Newman, J. K. Evans, et al., "Hazards Identification and Analysis for Unmanned Aircraft System Operations," in *Proc. 17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference,* 2017. Online: https://doi.org/10.2514/6.2017-3269
[11] European Aviation Safety Agency, *'Drone Collision' Task Force – Final Report.* 2016. Online: www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/TF%20Drone%20Collision_Report%20for%20Publication%20%28005%29.pdf
[12] Civil Aviation Authority: *Drone Safety Risk: An assessment,* 2018. Online: https://publicapps.caa.co.uk/docs/33/CAP1627_Jan2018.pdf
[13] Ferenczi István, Ferenczi Ildikó, Szilágyi D., *Légi járművek fedélzeti rendszere.* Nyíregyháza, Nyíregyházi Egyetem, 2018.
[14] P. Angelov, *Sense and avoid in UAS.* John Wiley & Sons, 2012. Online: https://doi.org/10.1002/9781119964049
[15] A. Carrio, J. Tordesillas, S. Vemprala, et al., "Onboard Detection and Localization of Drones Using Depth Maps," *IEEE Access,* vol. 8, 30480–30490, 2020. Online: https://doi.org/10.1109/access.2020.2971938
[16] M. Ball, *BVLOS Drone Flight Conducted Using Onboard DAA.* Unmanned Systems Technology, 2020. Online: www.unmannedsystemstechnology.com/2020/05/first-daa-only-bvlos-drone-flight-in-canada-approved/
[17] Makkay I., „Drónok harca," *Repüléstudományi Közlemények,* 27. évf. 1. sz. 61–72. 2015. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_1/2015-1-05-0192-Makkay_Imre.pdf
[18] S. Jamil, Fawad, M. Rahman, et al., "Malicious UAV Detection Using Integrated Audio and Visual Features for Public Safety Applications," *Sensors,* vol. 20, no. 14, 3923, 2020. Online: https://doi.org/10.3390/s20143923
[19] Makkay I., „Másodlagos információforrások a légtérben," *Repüléstudományi Közlemények,* 31. évf. 1. sz. 103–112. 2019. Online: https://doi.org/10.32560/rk.2019.1.9
[20] Vas T., Palik M., Nagy G., „Pilóta nélküli légi járművek repülőterekről történő alkalmazása," *Honvédségi Szemle,* 144. évf. 1. sz. 73–82. 2016.

[21] Palik M., Vas T., „Biztonságirányítási rendszer alapelvei a UAS üzemeltetésben," in *Repüléstudományi Szemelvények,* Békési B., Szilvássy L. szerk., Szolnok, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Intézet, 2016. 113–124.

Safety Risks of the Application of Drones and Conventional Aircrafts in a Common Airspace

Today, there is a growing demand for application of unmanned aerial vehicle, better known as drones, for both public and civilian use. Their presence appears in almost all industries, as the potential of their use holds untapped potential. At the same time, their appearance not only creates opportunities, but may also be considered a serious source of danger in the event of improper and regular use. In this article the authors want to present and analyse the negative factors associated with the appearance of drones, whether they really pose a real threat, and what the end results may be if a drone approaches or even collides with another aircraft. Furthermore, We also examine how and in what way approaches and collisions could be avoided in order to maintain an acceptable level of aviation safety.

Keywords: *drone, UAV, near miss, airspace, airspace structure, risk, safety*

Gajdács László, MSc főhadnagy, tanársegéd Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék gajdacs.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2334-6859	László Gajdács, MSc First Lieutenant, Assistant Lecturer University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems gajdacs.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2334-6859
Dr. Dudás Zoltán alezredes, adjunktus Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék dudas.zoltan@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-8682-884X	Zoltán Dudás, PhD Lieutenant Colonel, Assistant Professor University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aerospace Controller and Pilot Training dudas.zoltan@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-8682-884X

Dr. Palik Mátyás ezredes, egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék palik.matyas@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-2304-372X	Mátyás Palik, PhD Colonel, Associate Professor University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aerospace Controller and Pilot Training palik.matyas@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-2304-372X

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
33. évfolyam (2021) 1. szám 171–191. • DOI: 10.32560/rk.2021.1.13

Csóré Attila, Major Gábor

A pilóta nélküli légi járművek (UAV) evolúciója

A címben szereplő légi eszköz kétségkívül a repülés egyik legdinamikusabban fejlődő területét képviseli, és potenciálisan az új repülési technológiák, eljárások, valamint az általuk megoldható feladatrendszerek és megoldási taktikák hírnökei. Csak az utóbbi néhány évben kerültek elő ezek a légi robotok az árnyékok közül, de valójában már évtizedek óta sikerrel használják őket. Belátható, hogy ezek a „szárnybontogatás" évei, mivel a teljes képességrepertoár megjóslására jelenleg nincs tudós ember e Földön.
Az alábbi publikációban a szerzők bemutatják, hogy a dinamikusan fejlődő pilóta nélküli légi járművek megjelenése, fontosságuk, megítélésük, jelentőségük és a betöltött szerepük a civil, illetve a katonai környezetben milyen fordulatot vehet, a fejlődésük exponenciális pályája mennyiben leng ki, és tartható-e ez a növekedési ütem?
A cikkből az olvasó megismerheti, hogy az egyre messzebbre, magasabbra törő és mindezt egyre gyorsabban megvalósító légi robotok, amelyek mindeközben saját tömegük sokszorosát szállítva teszik a dolgukat, milyen energiaforrásból fedezhetik a szükséges meghajtó erőt.

Kulcsszavak: *pilóta nélküli légijármű-rendszerek, drón, UAV-meghajtás, felhasználási lehetőségek, katonai specifikáció, környezetbarát UAV technológia*

1. Bevezetés

A jövő légi járműveinek tudását, kinézetét, felszereltségét, meghajtási megoldásait nehéz pontosan meghatározni. A folyamatos fejlődésnek köszönhetően akár rövid időn belül is hatalmas változások következhetnek be, amelyek nagymértékben befolyásolhatják a légi járművek jövőjét és a repülésről alkotott véleményünket, elképzeléseinket. A változás kézenfekvő, a fejlődés pedig garantált, hiszen a levegőben közlekedő járművek nélkül nem tartana itt a gazdaság, a turizmus és természetesen a vírusmutációk terjedése sem. Az emberiség történelmében minden „fontosabb" időszakot egy-egy találmány, felfedezés tett örök emlékűvé, ezek alapozták meg a következő időszak fejlődésének ívét. Nézzük csak az ipari forradalmak 1764-től íródott történetét, amelynek első szakasza a gépek „megszületésének" időszaka volt, ezzel elindulhatott a szárazföldi kötött pályás és vízi közlekedés. Majd ezt követte az 1870-es évektől zajló újabb korszak, amelyben futószalagon készültek a közúti járművek, és „szárba szökkent" Radnóti Miklós[1] gondolatai is, miszerint: „Ki gépen száll fölébe […]".[2] Az emberek

[1] (1909–1944) magyar költő, a modern magyar líra kiemelkedő képviselője.
[2] Radnóti Miklós: *Nem tudhatom,* 1944.

már nemcsak a tovaszálló madarak repülési képességeiben gyönyörködtek, hanem megalkották azt a levegőnél nehezebb konstrukciót, ami képes volt elrugaszkodni a talajtól és egyre több időt eltölteni a „madarak társaságában".

A következtetéseket a jövő pilóta nélküli légi járműveit[3] illetően az előnyök, hátrányok megvizsgálásával, a fejlesztési, kutatási opciók és a jelenünk pilóta nélküli légi járműveinek képessége alapján fejtjük ki.

Ez a publikáció áttekintést ad az olvasónak a pilóta nélküli légi járművek (UAV) jelenlegi helyzetéről a világon, és igyekszik minél szélesebb spektrumban kitekintést adni arról, hogy mi várhat ránk a jövőben. Nem azt állítjuk, hogy teljes, és minden ország, minden légi eszközét és történését, ami ezen a területen zajlik, lefedi ez az írás, hanem inkább reprezentatív áttekintést kívánunk adni a jelenleg használt UAV-ról, és az ezekkel a légi eszközökkel kapcsolatos technológiák általános állapotáról, miközben a jövő felé tekintünk.

2. Mi is az a pilóta nélküli légi jármű[4]?

A pilóta nélküli légi jármű kifejezés az angol Unmanned Aerial Vehicle (UAV), vagy Unmanned Aircraft System (UAS) kifejezésből ered. Gyakran és a köznyelvben előszeretettel használják még a drón elnevezést is. Idetartoznak azok a légi járművek, amelyeknek a fedélzetén nincs ember, aki az eszköz irányítását végzi. Amennyiben ezen a meghatározáson indulunk el, akkor megállapíthatjuk, hogy a pilóta nélküli légi járművek évszázadok óta léteznek. Igaz, napjaink álláspontja szerint nem sorolhatók az 1849 körüli években robbanóanyaggal megpakolt pilóta nélküli léghajók ebbe a kategóriába. Ez az elképzelés, illetve a léghajók ilyen jellegű felhasználási szándéka kiemelkedőnek számít. Az 1915 utáni években már légi felderítés, légi fotók készítése történt az ellenséges területeken. A felismerés megszületett, és az ilyen jellegű alkalmazás iránti igény megnőtt. Az Amerikai Egyesült Államok meg is kezdte az UAV-k fejlesztését az 1916-os évtől. Az 1980-as évekig nagyon költségesnek és megbízhatatlannak bizonyultak ezek a pilóta nélküli légi eszközök. Az 1980-as év fordulópontnak számít, új program keretein belül 1986-ra már új, hatékonyan használható pilóta nélküli, felderítési célokra kialakított légi járművet készítettek és alkalmaztak. Ez volt az RQ-2 Pioneer [3].

A katonai alkalmazás során elsősorban olyan feladatkörök ellátására tervezték őket, amelyek túl veszélyesnek bizonyultak a pilóták részére, és testi épségüket veszélyeztette volna a küldetés végrehajtása.

Alkalmazásuk lehetővé tette olyan feladatok elvégzését, amelyek túl hosszan tartónak bizonyulnak, és egy pilóta sem lenne képes a sikeres végrehajtására. A pilóta nélküli légi járművek alkalmazása kiterjedhet felderítésre, megfigyelésre, rádiótechnikai átjátszásra, rádióelektronikai zavarásra, támadásra és még számos más katonai célok megvalósítására [46, 309–312].

Az elmúlt évtizedek technológiai fejlődésének köszönhetően azonban újra időszerű a kérdés, hiszen a pilóta nélküli rendszerek hatalmas fejlődésen mentek/mennek keresztül, amely töretlen, sőt viharos. Ezek az eszközök felépítésükben, működésükben csaknem azonosak az ember által vezetett repülőgépekkel, helikopterekkel [32]. Napjainkra kialakultak a merev, a forgó-, sőt a csapkodószárnyú kis, illetve a hang sebességét is meghaladó sebességgel

[3] *Unmanned Aerial Vehicle, Unmanned Aerial System:* pilóta nélküli légi jármű, pilóta nélküli légijármű-rendszer.
[4] Unmanned Aircraft Systems. ICAO Circular 328. International Civil Aviation Organization, 2011.

repülő, néhány grammos és többtonnás felszálló tömeggel a levegőbe emelkedő, bázisuktól alig százméternyire eltávolodni képes, valamint akár a kontinensek közötti távolságok átszelésére is alkalmas konstrukciók. A merevszárnyú modell kialakítása megfelel a repülőgépekének, ahol a felhajtóerő a levegőbe emelkedve az előre haladó szárnyakon keletkezik. Ami a forgószárnyas csoportba tartozókat illeti, működési elvük megegyezik a helikopterekével, tehát az alkalmazott forgószárnylapátok – mint szárnyak – forgás következtében termelnek szükséges felhajtóerőt [25], [30], [31]. A felhasználók szempontjából a fő jellemzők, amelyek alapján összehasonlítják és kiválasztják az UAV-kat: a repülés időtartama, a hatótávolság, a hasznos teher felhasználhatósága, alkalmazhatósága, illetve fizikai méretei [13], [23]. Fontos szempont a légi járművek esetében, hogy milyen sebességgel képesek repülni, mekkora a hasznos terhelhetőségük (ez az egyik olyan paraméter, amellyel sohasem elégedettek a felhasználók egyetlen légi jármű esetében sem [13], [23]), illetve hogy milyen hatótávolságra tudnak eljutni. Ebben az esetben is a légi jármű feladatkörének megfelelően vannak, amelyeket kisebb vagy nagyobb távolságra alkalmaznak, illetve a sebesség tekintetében is, ha feladatkör azt kívánja, akkor hangsebesség feletti tempóval repülő légi jármű is rendelkezésre áll már napjainkban. A légi jármű meghajtását illetően a sokrétűség és a lehetőségek kimeríthetetlennek tűnő tárháza mutatkozik. Dugattyús motor, gázturbina és akár villanymotor működtetésűt is megkülönböztetünk jelenleg, és nem is sejtjük, hogy mit tartogat számunkra a technológiai „ősrobbanás". Ezek a légi eszközök az ember fedélzeti jelenléte nélkül, autonóm módon is képesek repülni [25]. A működésükhöz szükséges információkat a környezetükből gyűjtik, szenzorok segítségével érzékelik pozíciójukat, és egy döntési folyamat eredményeként működésüket, helyzetüket, mozgásukat a háromdimenziós térben korrigálják [53], [54]. Ugyanakkor repülhetnek az ember által végzett távirányítással, esetleg e kettőt kombinálva is. Valamennyi felsorolt konstrukciós megoldás, irányítási változat közös sajátossága azonban továbbra is az emberi tényező nélkülözhetetlensége [35], [44, 197].

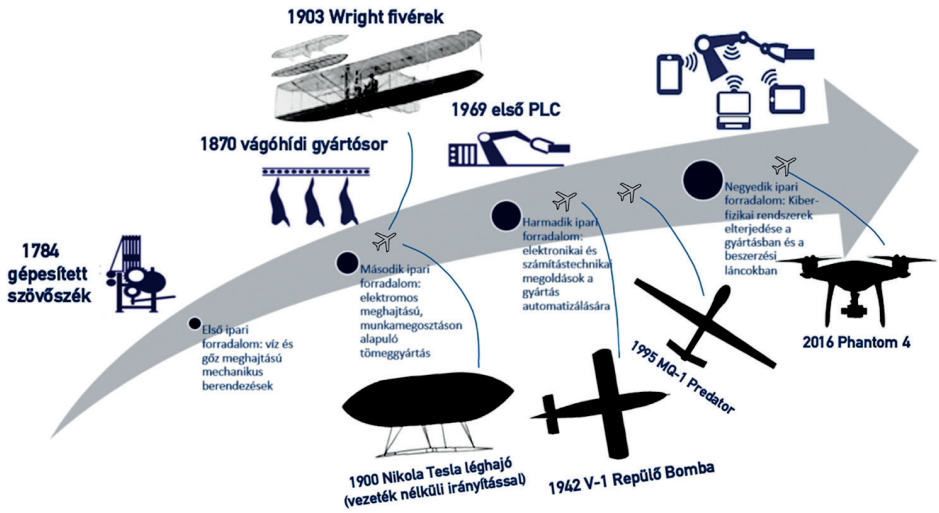
Az UAV és UAS tervezésének, földi és légi üzemeltetésének kulcskérdése a repülésbiztonság és a biztonság általában. Az UAV fedélzeti rendszerei redundanciájának kérdéseit Békési és Wührl [22], [28] munkái vizsgálják, és adnak válaszokat a felmerülő biztonsági kihívásokra. Békési Bertold munkáiban az UAV megbízhatóságának vizsgálatát [15], [16], [17], [18], a különböző sárkányszerkezeti kialakításokat [25], [27], [29], [30], [31] és a jövőbeni lehetséges megoldásokat [19], [24], [26] foglalta össze.

A pilóta nélküli légi járművek jövőjének vizsgálatához a fentiekben leírt szempontok alapján való vizsgálódás meghatározó lehet. A nagy iramú fejlődésnek köszönhetően napjainkra elérhetővé váltak a különböző pilóta nélküli légi járművek, hogy integrálódhassanak a civil életbe, a civil mindennapok tevékenységeibe. A következőkben, a fent említett szempontok alapján, példákon keresztül megvizsgáljuk az esetleges jövőbeli fejlesztések lehetőségeit.

3. A pilóta nélküli légi járművek fejlődésének irányai

Az emberiség evolúciója során egy-egy véletlenül „feltalált" tárgy vagy eszköz határozta meg a törzs további életének minőségét és végeredményben a népcsoport létezésének hosszát is. Minél inkább tudatosan élte meg napjait az ember őse, annál inkább önmaga kereste a boldogulásához szükséges használati tárgyakat, amelyeket a törzsfejlődés során fejlesztgetett, hatékonyabbá tett. Az ipari forradalom kezdetétől eltelt nagyságrendileg 300 év alatt több

és hatékonyabb tárgy, eszköz és jármű készült, mint az azt megelőző évezredek alatt. Ezzel együtt is, hiába az emberiség több mint 2000 éves történelme, hiába az ipari forradalmaknak nevezett technikai, technológiai fellendülés, a géppel végrehajtott repülés története alig 120 éves, amit az 1. ábrán láthatunk néhány érdekesebb fordulóponttal.

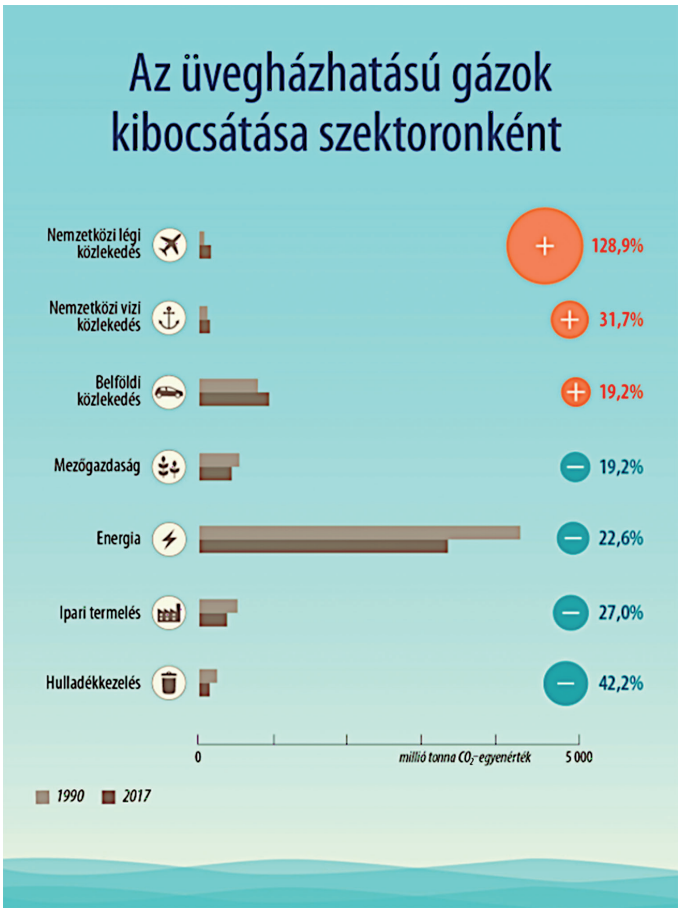


1. ábra
Az ipar és a repülés (Major Gábor szerkesztése [43] alapján)

Ha ebben a perspektívában vizsgáljuk tovább a távirányított, levegőbe emelkedni és repülni képes, pilóta nélküli eszközöket, akkor megállapíthatjuk, hogy ennek a légi eszköznek a gyerekkorát, de legrosszabb esetben is csupán a tinikorát éljük. Ebben a „lázadó" korban körvonalazódnak a jármű és a technológia lehetőségei, és derül ki, hogy mit is lehet kezdeni, ha minden szakterület a haladás útját választva egymást segíti a „lehetőségrétegek" feltárása során, mint ahogyan a hagymát megszabadítjuk a külső, látszólag értéktelen rétegektől, hogy feltáruljon a lényeg, az esszencia. Ez a művelet a növény esetében is sok munkával, kitartással és könnyel jár, csakúgy, mint megalkotni azt a légi robotot, amire az adott munka során leginkább szükségünk van.

3.1. UAV-k jövője felhasznált energia szerint

Jelenünk és jövőnk egyik nagy problémája a károsanyag-kibocsátás (lásd szektoronkénti eloszlásban az EU területén a 2. ábrán) és az általa okozott üvegházhatás. Az éghajlatváltozást és a Föld hőmérséklet-növekedésének ütemét lassítani kell.



2. ábra
Az üvegházhatású gázok kibocsátása szektoronként [2]

Habár a nemzetközi légi és vízi közlekedés csupán az összes kibocsátott üvegházhatású gáz 3,5%-áért felelős az EU-ban, ez a két szektor járul hozzá a leginkább növekvő mértékben a klímaváltozást gyorsító anyagok kibocsátásához. Ennek okai főként a légi utasok számának, illetve a kereskedelem mértékének növekedése. A becslések szerint a repülőgépek által kibocsátott károsanyag mértéke 2050-re a hétszeresére, sőt akár a tízszeresére is nőhet az 1990-es adatokhoz képest [2]. Bár ezek a számok nem tűnnek túlságosan jelentősnek, de figyelembe kell venni, hogy más területeken is a károsanyag-kibocsátás csökkentése a cél. Amennyiben más fosszilis energiahordozót felhasználó ágazatban sikerül nagyobb mértékben csökkenteni a felhasznált mennyiséget és ezzel a károsanyag-kibocsátást, akkor könnyen a légi járművek felelhetnek majd akár a teljes károsanyag-kibocsátás 20%-áért is [50, 24].

Ilyen példa lehet a hagyományos közlekedésben a fosszilis energiahordozót felhasználó gépjárművek leváltása elektromos energiát felhasználó, új, korszerű gépjárművekre. A károsanyag-kibocsátás csökkentése céljából egyre aktuálisabbá válnak a megújuló energiaforrások,

alternatív üzemanyagok és hajtások használata a légi járművek esetében. Ezen célok megvalósítása határozza meg talán a legjobban a légi járművek jövőjét. Ebből következik, hogy ez az egyre nagyobb létszámmal megjelenő pilóta nélküli járművekre is igaz, amelyeket a fentiekben megfogalmaztunk. A következőkben az ilyen irányú alkalmazásokat és fejlesztési irányokat mutatjuk be.

3.1.1. SKAI hidrogénmeghajtású légi jármű

A világon egyre többen kapcsolódnak be a fejlesztésekbe, különböző üzemanyagok előállításába. Folyamatosan folynak a tervezések és a tesztelések a jövő környezetbarát repülőinek megalkotása céljából. Egyik jelentős példa az amerikai és magyar együttműködésben tervezett, jelenleg 2 darabszámban gyártott hidrogén üzemanyagcella[5] meghajtású Skai elnevezésű légi jármű (3. ábra). A kettő közül az egyik Jakabszálláson található, amelynek bemutatásakor elhangzott, hogy az energetikai és klímastratégiában önálló fejezetként szerepel a magyar hidrogéngazdaság fejlesztése, hiszen várhatóan a mesterséges intelligencia, az ipar 4.0 és az 5G technológiai platform mellé hamarosan fel fog sorakozni egy negyedik is, amely alapvetően a hidrogéngazdaság platformját fogja jelenteni [41].

3. ábra
SKAI hidrogénmeghajtású légi jármű [41].

[5] Az üzemanyagcellák működésük során nem juttatnak a környezetükbe olyan káros anyagokat, mint a hagyományos tüzelőanyagok (nitrogén-oxidok, kén-dioxid, illetve lebegő részecskék), így akár környezetbarátnak is nevezhetők (lennének). Viszont a hidrogénbetáplálásúak vízgőzt bocsátanak ki magukból, ami a magasabb légrétegekben, ahol a légi járművek közlekednek, hozzájárul az üvegházhatáshoz. Ezenkívül, a működéshez szükséges hidrogén előállítása jelenleg döntő hányadában nem környezetbarát technológiákkal, fosszilis eredetű energiahordozók felhasználásával (pl. gőz, katalitikus reformálás, elektrolízis) történik, ami így kizárja a H_2 környezetbarát besorolását [14].

A hidrogénmeghajtással hosszabb üzemidőt és nagyobb terhelhetőséget érnek el az elektromos hajtású repülőgépekhez képest. A repülőgép esetében cél a 4 h-s repülési idő és a közel 500 kg terhelhetőség elérése. Tervezetten az irányítása pilóta nélkül és pilótával egyaránt lehetséges lesz. A mai napig folyik a formaterv véglegesítése, és a fejlesztések sem álltak meg, de tervezetten, az engedélyek beszerzését követően már 2023-ban repülhet is a légi jármű. Kezdetben áruszállításra, majd a tapasztalatok gyűjtésével, az esetleges módosítások után személyszállításra is kívánják a jövőben alkalmazni [4].

3.1.2. Napelemes UAV

A napelem nagyon elterjedt a világunkban. Fejlődésük lehetővé tette a légi járműveken való alkalmazhatóságát. Felfogja a nap elektromágneses sugárzását és azt elektromos árammá alakítja. Az ilyen jellegű légi járművek egyik nagy korlátja az akkumulátor. A hatékonyabb napelemek és akkumulátorok fejlődésével még több kapu nyílhat meg jövőbeli alkalmazásuk tekintetében. Napjaink kiemelkedő példája a Silent Falcon UAV, amelynek a szárnyfelületére napelemeket építettek be. Az energia tárolása lítiumion-akkumulátorok segítségével történik. Repülési időtartama 5 h. Kategóriájában nagy hatótávolság jellemzi, elérheti akár a 100 km-t is. A gyártó civil, illetve katonai alkalmazásra is javasolja a légi járművet. Jövőbeli alkalmazása kiterjedhet csővezetékek, elektromos vezetékek vizsgálatára, időjárás-megfigyelésre a civil alkalmazás tekintetében. Megjelenhet belbiztonsági, illetve katonai felderítési feladatok végrehajtásában is [50], [52].

A Boeing által 2017-ben felvásárolt repüléstechnikai cég, az Aurora Flight Sciences 2018 végén mutatta be az Odysseus nevű napelemes, önvezető repülőgépét, amelynek elsődleges célja az lesz, hogy klímaváltozásra vonatkozó adatok gyűjtésében segítse a kutatókat, egy műhold működtetési költségeinek töredékéért.

A 4. ábrán látható Odysseus névre keresztelt szénszálas gép az úgynevezett nagy repülési magasságú, hosszú repülési időtartamú drónok (HALE)[6] [25] közé tartozik, és gyártója szerint három tulajdonsága különbözteti meg a hasonló eszközöktől: a) egyedüliként tud tartósan egyhelyben lebegni; b) nagyobb terhet tud szállítani; c) éves szinten nagyobb területet képes bejárni, mint az ismert készülő vagy már gyártásban lévő vetélytársai.

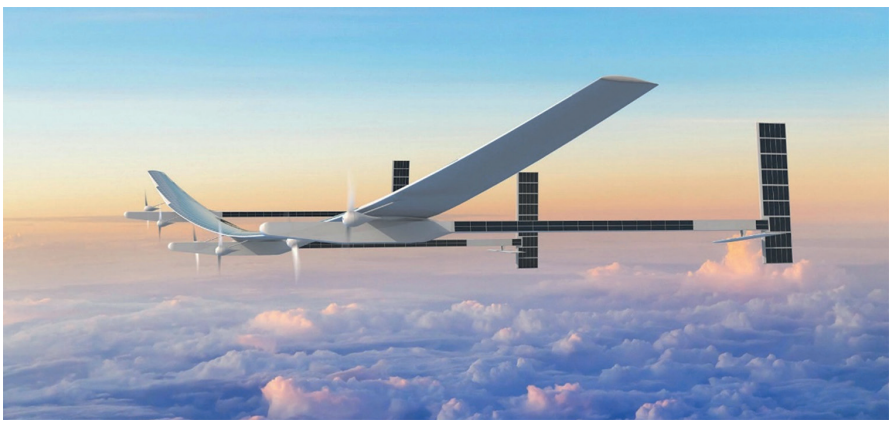
A drón hat propellerét napelemek és akkumulátorok hajtják, amelyek 250 W-os állandó teljesítményt képesek produkálni, ez pedig hasonló paraméterű gépek esetében példátlan, hiszen 25 kg-os hasznos teher cipelését teszi lehetővé. A pehelysúlyú monstrum szárnyfesztávolsága 74 m, tömegéről viszont csak annyit lehet tudni, hogy könnyebb egy Smart autónál (egy jelenleg is gyártott Smart Fortwo 890 kg-ot nyom). A repülési idő hivatalosan és szerényen „több hónap" a leírás szerint, ám sérülésmentes, működőképes napelemekkel gyakorlatilag a végtelenségig a levegőben lehet(ne) tartani. A sztratoszférába navigált gép beépített, nagy felbontású megfigyelőrendszere a vegetációt, a jégtakarók változását és még a talaj nedvességét is képes mérni. A bekerülési költség pontos összegéről idáig nem tudni,

[6] HALE – *High Altitude, Long Endurance.*

de a klímakutatóknak az lehet az Odysseus fő vonzereje, hogy nagyságrendekkel olcsóbb egy műholdnál, amely a Globalcom[7] adatai szerint 400–500 millió dollár között mozog.

Három prototípus készült az Odysseusból, amelyből az első kettőt még csak a repülésre való alkalmasság és a napenergia felhasználása szempontjából tesztelték, a 2020-ban felrepülő harmadik prototípust pedig már felszerelték a Harvard Egyetemen kifejlesztett ózonréteg-vizsgáló eszközzel is, amellyel a gép teherbírását is próbára teszik.

Az Odysseus először 2019. április 23-án szállt fel Puerto Ricóból, ezt a Massachusettsi Műszaki Egyetemen (MIT) kifejlesztett emberi hajtású repülőgép, a Daedalus 88[8] útjának 31. évfordulójához ütemezték [56].



4. ábra
Odysseus napelemes, önvezető repülőgép [55]

3.1.3. Elektromos meghajtású helikopter

Teljesen új koncepció került napvilágra a Volocopter légi jármű (lásd 5. ábra) tekintetében. Egyik érdekessége, hogy autonóm módon és pilótával is képes repülni. Rendkívül biztonságosnak ígérkezik, teljesen elektromos, zéró károsanyag-kibocsátás jellemzi. A helikopter 18 forgószárnnyal van ellátva, meghajtásukhoz szükséges energiát a lítiumion-akkumulátorok biztosítják. Rendkívül csendes légi járműnek számít, repülési ideje megközelítőleg 25 perc. A könnyű irányítása, megbízhatósága és csendes működése lehetővé teszi a jövőbeli alkalmazását légitaxi-szolgáltatásként. A városi közlekedés igen nehézkes tud lenni a sok gépjármű miatt. A városon belüli légi utasszállítás új lehetőségeket biztosít. A gyártó ennek megvalósítása érdekében a VoloIQ létrehozásán és alkalmazhatóságán dolgozik. A VoloIQ az UAM szoftverprogram „agyaként" szolgál.

[7] Internet, adatkommunikáció és a multimédia-megoldások vezető szolgáltatója Libanonban 1992 óta.

[8] Emberi meghajtású repülőgép, amely 1988. április 23-án 3 h 54 m alatt 115,11 km-es távolságot tett meg Krétáról indulva Santorini tengerpartján. Ezzel a teljesítménnyel a repülés hivatalos FIA- (*World Air Sports Federation* – a légi sportok világának irányító testülete) világrekordokkal rendelkezik az emberi hajtású repülőgépek teljes távolsága, egyenes távolsága és időtartama tekintetében.

A UAM *(Urban Air Mobility)* magyarra fordítva Városi Légi Mobilitást jelent. Ez a rendszer valós időben kínálja a UAM ökoszisztémájának teljes digitális átláthatóságát.

5. ábra
Volocopter légi taxi [57]

2011-ben mutatták be az első Volocoptert. Mindössze 9 év alatt rendkívüli fejlődésen ment keresztül, és olyan rendszer kiépítésén dolgoznak, amely úttörőnek számít a világon. A légi jármű jövőben való, ilyen jellegű alkalmazhatóságához még bizonyítania kell. A légitaxi-szolgáltatás nagyon új dolognak számít, ezért rengeteg engedélyeztetést igényel, hisz ilyen jellegű alkalmazás korábban még nem fordult elő [37], [50, 29], [57].

A fentiekben bemutatott légi járművek a hagyományos üzemanyagot és hajtást használó légi járművekhez képest kisebb mérettel, hatótávolsággal és sebességgel rendelkeznek. A gyártók szorosan együttműködve dolgoznak a jövő fejlesztésein, ideértve elektromos-motor- és akkumulátorgyártókat, vállalatokat, amelyek teljesen új konstrukciókat hoznak létre, és meglévőket alakítanak a jövő kritériumainak megfelelően [50, 29].

3.2. Az UAV-k jövője a mindennapokban

A pilóta nélküli járművek megjelenése lehetővé tette, hogy olyan feladatok is megoldhatóvá váljanak, amelyek az ember számára nem, vagy csak nehezen megoldhatók. Amennyiben továbbgondoljuk a drónok alkalmazásának lehetőségeit, és nem ragadunk le az előbb említett problémakörnél, akkor megfigyelhetjük, hogy ezek a légi eszközök alkalmasak különböző munkafolyamatok elvégzésére a termelékenység, hatékonyság, vagy akár a biztonság növelése érdekében [39, 107–109]. Láthatunk az eszköz által alkalmazható olyan megoldásokat is, amelyek még csak kísérleti fázisban vannak, és jelen állás szerint gazdaságtalannak minősül az alkalmazásuk, ezáltal a közeljövőt tekintve a „tervező asztalon" maradnak. Ennek ellenére folyamatos a kutatás és fejlesztés annak reményében, hogy idővel, a technológiai és a technikai fejlődésnek köszönhetően gazdaságos felhasználásuk elérhetővé váljon.

Ez a látványos „szárba szökkenés" a 20. század 1970-es éveiben, a programozható memóriájú vezérlőkkel és számítógépekkel megvalósított részleges automatizációval, a harmadik ipari forradalom időszakában kezdődött. Ezen technológiák létrejöttével már teljes gyártási folyamatokat tudunk automatizálni – emberi közreműködés nélkül. Jól ismert és egyre szélesebb körben (vízen, földön és levegőben) alkalmazott példák erre a robotok, amelyek előre beprogramozott műveletsorokat hajtanak végre, akár autonóm módon, emberi beavatkozás nélkül. Mindezt az egyre nagyobb tudással és képességekkel rendelkező mesterséges intelligencia lehetőségeivel kiegészítve, és hozzáadva a jelenkorban, a szemeink előtt megvalósuló negyedik ipari forradalom, információs és kommunikációs technológiák ipari alkalmazásának vívmányait, nincs ember a Földön, aki képes lenne megjósolni, hogy mire lehet képes ez a légi organizmus.

Az említett rendszerek hálózati kapcsolattal történő további bővítése a most zajló ipari forradalom kihívása, amely útján lehetővé válik, hogy ezek a rendszerek más létesítményekkel, más rendszerekkel kommunikáljanak, valamint hogy saját magukról információkat közöljenek. Ebben a struktúrában a rendszerek hálózatba kapcsolása „kiberfizikai irányítási rendszerek" létrehozásához vezet, és így okos felügyeleti rendszerekhez, amelyekben a felügyeleti rendszerek, a szenzorrendszerek [53], [54] és az emberek hálózaton keresztül kommunikálnak egymással, és a teljes felügyelet, az észlelés és az arra adott válaszként történő beavatkozás szinte teljes mértékben automatikus.

3.2.1. UAV a csomagszállításban

Nagy iramban közeledünk ahhoz az időszakhoz is, amikor csomagjaink kézbesítése pilóta nélküli légi jármű segítségével történhet. Egyre több drón áll rendelkezésre ilyen célok megvalósítása érdekében, de a felhasználásukhoz ebben az esetben is a szabályozó hatóságok engedélye szükséges. A gyártók kitartóan dolgoznak azon, hogy a drónok az áruszállításban olyan természetesek legyenek, mint most a postai gépjárművek az emberek mindennapjai során [11].

Az Amazon Prime Air kereskedelmi óriás drónos csomagszállító projektjét (a drónflotta egy példánya a 6. ábrán látható) 2020-ban engedélyezte a Szövetségi Légügyi Hivatal.

6. ábra
Amazon PrimeAir [10]

A kísérleti csomagszállítások hivatalosan megkezdődtek számos nemzetközi helyszínen, és további fejlesztésekkel kívánják elérni a fentiekben említett jövőképet. A cég célja a kisebb távolságokban, kisebb tömegű csomagok kézbesítése. A drónokkal 30 perces kiszállítást terveznek 24 km-en belül. Maximális terhelhetősége ezeknek az eszközöknek 2 kg [33].

Az Amazon mellett számos szállítmányozó cég érdeklődését keltette fel a légi eszközökben rejlő lehetőség.

A UPS[9] azt is becsülte, hogy ha a vállalat 66 000 kézbesítőjének útvonalát csupán egy mérfölddel teszik rövidebbé, az 50 millió dollár megtakarítást jelent. Emiatt a UPS teszteli a drónok szállítási lehetőségeit, és a teherautói tetejét mini helipadként[10] használja.

A Domino's[11] elsőként szállított pizzát drónokkal 2016-ban egy új-zélandi házaspárnak. A pizzacég szerint a drónok a jövőbeli szállítási műveleteinek elengedhetetlen részei lesznek [12].

3.2.2. Orvosi drónok

Fontos megemlíteni a pilóta nélküli légi járművek egészségügyben való alkalmazását is, legyen az egy egyszerű csomag (gyógyszerek, kötszerek, életmentő berendezések) kiszállítása, vagy akár érintésmentes testhőmérséklet mérése, ahogyan arról Kiss B, Major G: *Légből kapott segítség a COVID-19 ellen* [45] című írásban olvashatunk, de ezen a felhasználási területen sem „áll meg az idő", ugyanis megoldható lehet egy terület levegőből történő porlasztásos immunizálása is a szükséges eljárások kidolgozását követően. Ezek az eszközök a levegőben gyorsan képesek elszállítani a szükséges, egyes esetekben életmentő felszereléseket is. Jelenleg is folynak ilyen jellegű alkalmazások, szállítás távol eső vidéki területre vagy olyan helyszínekre, amelyek nehezen megközelíthetők. Jelentősebb felhasználásuk jelenleg afrikai országokban történnek. Az etiópiai Tudomány és Technológia Minisztériuma nagy erőforrásokat fektet a további fejlesztések érdekében. A projekt drónja egy általuk fejlesztett modell, amelyhez az alkatrészeket főként Kínából és az Amerikai Egyesült Államokból szereztek be. A légi jármű 5 kg hasznos teher szállítását teszi lehetővé. Repülési sebessége elérheti az óránkénti 120 km/h-t, repülési magassága pedig az 5000 m-t. A projekt fejlesztési tervei alapján ezek a légi járművek elosztóközpontokból fognak szállítani gyógyszereket 150 km-es sugarú tartományon belül. További drónokat gyártanak, amelyek az orvosi eszközök szállítását nagyobb távolságokra is képesek majd biztosítani. Az ilyen jellegű felhasználás nagyon lerövidítheti a várakozási időt, valamint naponta akár 150 orvosi eszközt, gyógyszert vagy gyógyászati segédeszközt is képesek lehetnek kijuttatni a felhasználás helyére.

Ez a logisztikai művelet rendkívülinek számít ebben a térségben. Vészhelyzet esetén az orvos igénye alapján a szükséges eszköz automatikusan útnak indul. Jellemzően a drón 1 órán belül a helyszínt megközelíti a GPS-navigáció segítségével. A célállomáshoz közeledve értesítik az orvost a csomag érkezéséről, és a kijelölt területen egy megfelelően kialakított tárolóba ejtőernyő segítségével juttatja el a szükséges felszerelést a pilóta nélküli légi eszköz. Ezután ugyancsak autonóm üzemmódban visszatér kiindulási helyére, és akkumulátorcsere után készen áll az új feladat elvégzésére.

[9] *United Parcel Service of America:* Amerikai Egyesült Csomagküldő Szolgálat, 1907-ben alapított, amerikai székhelyű, multinacionális csomagküldő szolgálat.
[10] Helikopter-felszállóhely, jelen esetben a drónok indítására és fogadására alkalmas dedikált platform.
[11] 1960-ban alakult Domino Pizza, Inc. néven, amerikai multinacionális pizza étteremlánc.

Miután az informatika, az irányítás és a gyártástechnológia fejlődése lehetővé tette a számítógépek minél kisebb méretben történő előállítását, miniatürizálását, nem jelent a továbbiakban akadályt a mind kisebb méretű légi robot programozása. Az UAV fedélzetéről a földi irányító pontra közvetített aktuális repülési paraméterek tájékoztatják a kezelőt, a rendszer felügyelőjét, aki ezáltal folyamatosan nyomon követi a végrehajtott feladatot, szükség esetén beavatkozásra is képes [47, 279].

A jövőben várhatóan egyre több ilyen feladatokat ellátó pilóta nélküli légi járművekkel találkozhatunk, már nemcsak az említett térségben, de a világ számos pontján is [49].

3.2.3. Drónok a mezőgazdaságban

A dróntechnikában rejlő új lehetőségek nagymértékű hatást gyakorolhatnak a mezőgazdaságra. Könnyen belátható, hogy a folyamatosan növekvő népességgel növekedni fog az élelmiszer iránti kereslet is. Megközelítőleg 30 év múlva 9,5 milliárd ember él majd a Földön, míg a termeléshez felhasználható területek, becslések szerint csupán 5%-kal növekednek. A fenntartható jövő érdekében szükséges a precíziós mezőgazdaság irányába való elmozdulás. A drónok különböző képalapú adatgyűjtése biztosítja a növények állapotának ellenőrzését, idetartozhatnak továbbá a vízellátottság, tápanyagellátás ellenőrzése, gyomnövények és a különböző károk beazonosítása. A drónok ma már nem csak információ- és adatgyűjtési feladatokra alkalmazhatók.

A jövőben nagymértékben nőhet a jelentőségük a permetezés, műtrágyázás területén is. Az egyre nagyobb teherbírású drónok még hatékonyabbá teszik a földművelést. Egyik legkiemelkedőbb példa erre a DJI Agras mezőgazdasági drónjai. A fejlődés jól megfigyelhető a gyártó két típusa a T16 és a T20 között. Mindkettő a kategóriájában hatékonynak számít, és kiemelkedő az általuk szállítható hasznos teher tömege. Az Agras T16-os modell moduláris felépítése könnyebbé teszi a karbantartást és a használatát. Szénszálas kompozitból készült, könnyű és tartós a szerkezete. A hatékony munkavégzéshez az akkumulátor és a tartály könnyen és gyorsan cserélhető. Ez a típus 16 l permetezőszert képes magával vinni, és 6,5 m szélességben tudja kijuttatni azt. A hatékony szivattyúnak és a 8 fúvókának köszönhetően percenként 4,8 l a permetezési sebessége. Ez a típus óránként 10 ha területet képes bepermetezni. Intelligens működés és nagy pontosság jellemezi [5]. A következő generáció típusa a 7. ábrán látható T20, amely várhatóan 2021-ben fog megjelenni.

Itt már megnövekedett az általa szállítható permetszer mennyisége 20 l-re, munkaszélessége pedig 7 m-re változott. Permetezési sebessége a percenkénti 6 l-t közelíti meg. Óránként képes 12 ha területet bepermetezni. Az eszköz precíziós feladatvégzését az RTK modul[12] biztosítja, amely lehetővé teszi a cm pontosságú helymeghatározást. A digitális radarjának köszönhetően vízszintes irányból képes észlelni és kikerülni az akadályokat, ezzel növelve az üzembiztonságot. Munkavégzés közben folyamatos élőképet biztosít a kezelő számára. A gyártó javasolja más drónok alkalmazását is a hatékonyabb feladatvégzéshez. Egy másik, a gyártó által javasolt drón elvégzi az adatgyűjtést, feltérképezést. A DJI Terra segítségével megtörténik az útvonalak tervezése, majd a T20 javított működési hatékonysággal elvégzi az adott feladatot. Ezzel elérhetővé válik a gyümölcsösök és a nehezen megközelíthető

[12] *Real-time Kinematic:* Valós idejű kinematikus helymeghatározást biztosító részegység.

teraszos ültetvények hatékony permetezése. A gyártó az előző generációhoz képest 25%-kal nagyobb hatékonyságot ígér [8].

7. ábra
AGRAS T20 permetező drón [8]

Pár év alatt hatalmas eredmények jöttek létre. Feltehetően a jövőben még hatékonyabb pilóta nélküli légi járművek jelennek meg a precíziós mezőgazdaságokban. A 2021-es termék előrelátható vásárlói ára 7 millió forint körül alakulhat. Az előző generáció típusa 5 és 5,5 millió forint közé tehető jelenleg Magyarországon. A jövőben, feltehetően egyre elérhetőbbé válhatnak ezek az eszközök, és a kisebb gazdaságokban is megjelenhetnek [6], [7].

Ahogyan már korábban megfogalmaztuk, az elektromos energiát felhasználó légi járművek egyik nagy korlátja az elektromos energiát tároló akkumulátorok. A gyors töltési idő és a hosszú élettartam még nem összeegyeztethető az akkumulátorok esetében.

A fenti példához kapcsolódóan egy mezőgazdasági drón akkumulátora körülbelül 400 töltés után használhatatlanná válik. A 15–20 perces repülési időt lehetővé tevő akkumulátorok, a huzamosabb felhasználási időnek köszönhetően hamar elérhetik a fent említett 400-as töltési számot. Megállapítható, hogy az akkumulátorok fejlődése kulcsfontosságú a jövőt illetően.

3.3. Az UAV-k jövője katonai környezetben

A kezdeti „szárnypróbálgatásokat" követően a II. világháború után, az 1950-es években kezdtek megjelenni a pilóta nélküli felderítő repülőgépek olyan missziókban, amelyeket túl veszélyesnek tartottak ahhoz, hogy megkockáztassák a személyzet elvesztését. Jelentős számban használták a vietnámi háborúban, valamint kevésbé beharangozott küldetésekben, például az 1950-es és 1960-as években Kína feletti kémrepülésekben.

Az UAV-k szerepe egyre jelentősebb a légi, földi, illetve a tengeri műveletekben is. A drónok, a bombákat hatástalanító robotoktól a mini tengeralattjáróig, a hajófedélzetről indítható felderítő helikopterektől a nagy magasságban tevékenykedő, precíziós támadásokat végrehajtó légi eszközökig a legtöbb esetben a feladatuk végrehajtása, illetve az arra történő

felkészítésük során igénylik az emberi beavatkozást (szakemberek tevékenységét) [20], [21]. A jövő katonai távirányítású pilóta nélküli repülőgépei, amelyek érzékeny felderítő elektronikával és erős precíziós fegyverekkel vannak felszerelve, nehezen észlelhetők, halálosak és a feladataik súlyosságához mérten, olcsón építhetők. A drónok olyan típusú fegyverrendszert jelentenek, amelyet a stratégák mindig is kívántak, lehetővé teszik egy katonai erő számára, hogy hatalmat gyakoroljon, miközben minimalizálja saját kockázatát, és pontos, halálos csapást hajt végre, anélkül, hogy saját katonáit veszélybe sodorná. Az ENSZ[13] jelentése több mint 40 olyan országot sorol fel, amelyek távirányítású repülőgépeket vásároltak, bár ezek többségét légi felderítésre használják [1].

3.3.1. Az X61 UAS

Az Egyesült Államok egyik jelentős fejlesztése a DARPA által 2016-ban indított Gremlins program. Ennek a programnak a keretei között egy pilóta nélküli légi rendszer kiépítése volt a cél. Egy komplex rendszer, amelyben egyszerre több példányban bevethető és újra használható pilóta nélküli légi járművek vannak. Itt fontos tényező a magas fokú összehangoltság, nagy számú pilóta nélküli légi jármű alkalmazása a műveletekben, elosztott képességek és az ezekkel elérni kívánt rugalmasság és költségmegtakarítás. Az elképzelés kiegészül azzal az újdonsággal, hogy a végrehajtandó feladat irányába a rendszerben alkalmazni kívánt drón, a 8. ábrán látható X61-es, harci repülőkről, hordozógépekről, esetleg bombázóról is indítható.

8. ábra
Dynetics X-61A Gremlins az első repülés során [36]

Ez lehetővé teszi, hogy a sokkal drágább és nagyobb üzemeltetési költségekkel rendelkező légi jármű, amelyről az indítás történik, a veszélyes, ellenséges erők hatósugarán kívül maradjon. Az elindított X61-es légi járművet a tervek szerint pedig a sikeres feladat-végrehajtást követően begyűjtik, hazaszállítják és felkészítik a következő bevetésre. Az X61 felszerelhető

[13] Egyesült Nemzetek Szervezete (*United Nations,* röviden: UN).

különböző elektrooptikai érzékelőkkel, infravörös képalkotókkal, illetve elektronikai hadviselési rendszerekkel és fegyverekkel. Tervezetten ezek a légi járművek 20 alkalommal vethetők be különböző feladatok végrehajtására. Ezeket a légi járműveket kisebb méret, kevesebb hasznos tömeg, jelentősen kisebb költség jellemzi a hagyományos, hosszú élettartamra és hasonló feladatkörre tervezett légi járművekhez képest. Tervezetten az elképzelések szerint, távolról akár egyszerre 8 darab X61-es légi jármű is irányítható lesz egy időben. Eddig 5 darab készült el, ebből 1 db megsemmisült egy kísérlet során [38], [40].

3.3.2. Szu-70 UCAV

Oroszországban nagy iramban történik az új Szu-70 UCAV[14] fejlesztése, amit a 9. ábrán mutatunk be. Az UCAV mozaikszó magyar fordításban a felfegyverzett vagy fegyveres alkalmazásra képes pilóta nélküli harci repülőgépet jelenti, amely jelenleg egyedülállónak számít a légi eszköz alkalmazásának terén.

A repüléssel foglalkozó szaklapok információi szerint Oroszország már 2024-ben megkaphatja az új Szuhoj Szu-70 Okhotnik repülőgépet. A felhasználási elképzelés szerint az 5. generációs Szu-57-es repülőgéppel fog együttműködni. Folyamatos információ- és adatkapcsolat-létesítés történik a két gép között, ezzel kiterjesztve a harci repülőgép képességeit. Ezáltal növelhető a Szu-57-es radarja által elérhető hatótávolság. Nagy távolságú célpontokat jelölhetnek ki a Szu-70-es által, anélkül, hogy felderíthetővé válna a légi jármű, amiben további segítség a lopakodó kialakítás. A Szu-70-es légi járműnek méretei jelentősen nagyobbak más nyugati pilóta nélküli harci repülőgépeknél [25, 299–316]. A 20 m-es szárnyfesztávolsággal és a 14 m hosszúságával a tömege 20 t-ra becsülhető. Sebessége 1000 km-re tehető óránként, hatótávolsága pedig elérheti a 6000 km-t. Fegyverzetének tömege legfeljebb 2,8 t lehet [57].

9. ábra
A Szu-70 Okhotnik-B (Hunter) harci drón 2019 augusztusában hajtotta végre első repülését [52]

[14] *Unmanned Combat Air Vehicle*: Pilóta nélküli harci repülőgép.

3.3.3. QF-16

Az amerikai oldalon is jelentős fejlesztések és átalakítások történnek a pilóta nélküli repülés területén. Az Egyesült Államok minden évben jelentős mennyiségű F-16-os 4. generációs repülőgépet „nyugdíjaz". Ezeknek a nagy részét átalakítják, méghozzá pilóta nélküli légi járművé. Ezeknek a repülőgépeknek az átalakítása könnyen megvalósítható, hiszen ezek úgynevezett fly-by-wire repülőgépek, ami az irányítási rendszerük működési elvére utal.

Ez azt jelenti, hogy a repülőgép irányításához szükséges pilóta általi mozdulatokat érzékeli a számítógép, és az utasításokat vezetékeken keresztül továbbítják a kormányszervek felé, majd a különböző irányításért felelős szervek működésbe lépnek, és megvalósul az irányítás. Az átalakított repülőgépeket QF-16-nak nevezik, ami a 10. ábrán tekinthető meg.

10. ábra
QF-16, a gép és a „pilóta" fülke, pilóta nélkül repülés közben (Major Gábor szerkesztése [9] alapján)

Ezek a gépek képesek önálló fel- és leszállásra, bonyolult manőverek végrehajtására. Ennek ellenére a legtöbbször ezek a gépek nem szállnak le, mert lelövik őket a levegőben célgyakorlatként más, rakétákat indító pilóta nélküli légi járművek. Ezeket a légi járműveket is fel tudják használni hasonló módon, mint a fentiekben bemutatott orosz Szu-70-es. A QF-16-os repülőgépek megfelelő szoftverrel a jövőben kísérhetik az F-22-es vagy az F-35-ös repülőgépeket is [42].

4. Konklúzió

A publikáció elején röviden bemutattuk a pilóta nélküli légi járművekkel kapcsolatos információkat, az első UAV megjelenését, katonai alkalmazását és a velük szemben támasztott követelményeket. Ezek a légi eszközök napjainkra rendkívül széles körben alkalmazhatók. A kialakítási lehetőségek nagy számban állnak rendelkezésre. Más kérdés azonban, hogy a fenntartható jövő érdekében mégis milyen energiafelhasználást és hajtóanyagot alkalmaznak.

A mindennapok során egyre jobban érzékeljük a károsanyag-kibocsátás hatásait, amiből jelentős szeletet „vállal" a légi közlekedés legtöbb szegmense is.

A pilóta nélküli légi járművek fejlesztésein látható, főként a civil alkalmazásokban, hogy erősen az elektromos energiafelhasználás és megújuló energiaforrás alkalmazása kerül előtérbe. Bemutattuk a csomagszállításban, egészségügyben és a mezőgazdaságban használható pilóta nélküli légi járműveket, illetve ezeknek a jövőbeli fejleszthetőségi irányvonalait.

A katonai alkalmazhatóságnál figyelembe kell venni azt is, hogy elektromos energiával még nem lehetséges olyan haditechnikai mutatókat elérni, amelyek megfelelnének vagy túlmutatnának bizonyos katonai feladatokban alkalmazott légi járművek jellemzőin. Ideértve például a hatótávolságot, a sebességet és a függeszthető hasznos terhet. Vannak azonban bizonyos területek, ahol a katonai felhasználás lehetővé teszi az elektromos meghajtású pilóta nélküli légi jármű alkalmazását, mint például az ellenséges terület tartós megfigyelése. A kutatás-fejlesztés egyre inkább a harci feladatokat ellátó drónok autonóm működése, feladatainak ilyen jellegű végrehajtása irányába tolódik, amelyet kétségkívül a mesterségesintelligencia-kutatás tud megfelelően és maximálisan támogatni. Ennek a két kutatási területnek (a pilóta nélküli légi járművek és a mesterséges intelligencia) a kedvező elegye olyan légi képességeket hozhat létre, amelyek nem csupán a harctéri körülmények között, de a civil hétköznapokban is rendkívül hasznos és hatékony megoldásokat lesznek képesek adni az emberiségnek.

Ezt támasztja alá egyrészről, hogy a mesterséges intelligencia 2030-ra a világgazdaság 16%-ához járul majd hozzá, míg a brit gazdaságot 22%-kal növeli [48].

Másrészről Avi Bleser[15] találó megfogalmazása tökéletesen mutatja a drónok elterjedésének ütemét, miszerint: „Mosolyogj, amikor felnézel az égre, mindig figyel valaki" [1].

A publikációban említett és tárgyalt tényezők további lehetőségekre világítanak rá, amelyek nagyban meghatározzák a jövő kimenetelét. Mindemellett nem elhanyagolható tény, hogy a technikai, technológiai fejlődést hogyan befolyásolhatják majd a felmerülő jogi kérdések és hatósági engedélyeztetések, ugyanis ezen múlik ennek az ipari szegmensnek a fejlődése és kiteljesedése.

Hivatkozások

[1] *'Messengers of Death': Are Drones Creating a New Global Arms Race?* Online: https://abcnews.go.com/International/drones-creating-global-arms-race/story?id=14788147

[2] Európai Parlament, *A repülésből és hajózásból származó károsanyag-kibocsátás számokban.* 2019. Online: www.europarl.europa.eu/news/hu/headlines/society/20191129STO67756/a-repulesbol-es-hajozasbol-szarmazo-karosanyag-kibocsatas-szamokban

[3] Daly, D., A *Short History of Unmanned Aerial Vehicles (UAV).* Consortiq. Online: https://consortiq.com/short-history-unmanned-aerial-vehicles-uavs/

[4] BAON, *A világ első hidrogénhajtású légi járművét építik Jakabszálláson.* 2020. Online: www.baon.hu/kozelet/helyi-kozelet/a-vilag-elso-hidrogenhajtasu-legi-jarmuvet-epitik-jakabszallason-2424690/

[5] DJI, *AGRAS T16.* Online: www.dji.com/hu/t16?site=brandsite&from=insite_search

[15] Israel Aerospace Industries (IAI) katonai repülőgép-csoport marketing-, és értékesítési alelnöke.

[6] Hobbycity, *DJI Agras MG-T16 mezőgazdasági permetező drón.* Online: www.hobbycity.hu/dji-agras-mg-t16-mezogazdasagi-permetezo-dron?utm_source=arukereso&utm_medium=cpp&utm_campaign=direct_link
[7] Hobbycity, *AGRAS T20 ár.* Online: www.hobbycity.hu/dji-agras-t20-permetezo-dron-5887
[8] DJI, *AGRAS T20.* Online: www.dji.com/hu/t20
[9] J. Keller, *Air Force to convert 30 F-16 jet fighters to target drones in $34.4 million order to Boeing.* Military & Aerospace Electronics, 2016. Online: www.militaryaerospace.com/computers/article/16714529/air-force-to-convert-30-f16-jet-fighters-to-target-drones-in-344-million-order-to-boeing
[10] Amazon, *Amazon Prime Air* [Amazon jövőbeni szállítási rendszere]. Online: www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?ie=UTF8&node=8037720011
[11] Justin V., *Az Amazon megkapta az engedélyt a drónos csomagszállításra.* Rakéta, 2020. Online: https://raketa.hu/az-amazon-megkapta-az-engedelyt-a-dronos-csomagszallitasra
[12] J. Desjardins, *Is the Future of Ecommerce in Drone Deliveries?* Visual Capitalist, 2018. Online: www.visualcapitalist.com/ecommerce-drone-deliveries/
[13] Békési B., Szegedi P., „Pilóta nélküli légijárművek – biztonság vagy fenyegetés," in *XV. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia. Előadások*. Mesterházy B. szerk. Szombathely, Nyugat-magyarországi Egyetem, 2016. 130–141.
[14] Békési B., Juhász M., „Pilóta nélküli légijárművek energia forrásai," *Economica,* 7. évf. 1. sz. 92–100. 2014. Online: https://doi.org/10.47282/ECONOMICA/2014/7/1/4311
[15] B. Békési, M. Novák, A. Kárpáti, Gy. Zsigmond, "Investigation of the Reliability of UAVs," in *Proceedings of the 16th International Conference Transport Means 2012,* Kaunas, Lithuania, 2012. 101–103.
[16] Békési B., Novák M., Kárpáti A., Zsigmond Gy., „Egyszerűsített UAV irányító rendszer megbízhatósági vizsgálata," *Repüléstudományi Közlemények,* 25. évf. 2. sz. 224–231. 2013.
[17] Békési B., Papp I., Szegedi P., „UAV-k légi és földi üzemeltetése," *Economica,* 6. évf. 2. sz. 99–117. 2013. Online: https://doi.org/10.47282/ECONOMICA/2013/6/2/4422
[18] Békési B., Papp I., „Pilóta nélküli légijárművek megbízhatósága," in *Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban.* Pokorádi L. szerk. Debrecen, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2014. 223–230.
[19] B. Békési, I. Papp, "UAV Future Development," in *Proceedings of the International Conference Deterioration, Dependability, Diagnostics 2013,* Brno, Czech Republic, 2013. 63–76.
[20] Békési B., Szegedi P., „Napjaink fegyverrendszer fejlesztési trendjei," *Economica,* 8. évf. 4/2. sz. 174–184. 2015. DOI: https://doi.org/10.47282/ECONOMICA/2015/8/4/2/4603
[21] Békési B., Szegedi P., „Napjainkban fejlesztett fegyverrendszerek megjelenése a jövő hadszínterein, a tudásalkalmazás és fejlesztés szempontjából," *Repüléstudományi Közlemények,* 27. évf. 3. sz. 105–116. 2015. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_3/2015-3-08-0223_Bekesi_B-Szegedi_P.pdf
[22] B. Békési, T. Wührl, "Redundancy for micro UAVs – control and energy system redundancy," in *Proceedings of the International Conference Deterioration, Dependability, Diagnostics 2012,* Brno, Czech Republic, University of Defence, 2012. 123–130.
[23] B. Békési, P. Koronváry, "Are drones a boon or bane? Scientific research and education in the Air Force," *Scientific Research and Education in the Air Force – AFASES,* no. 1, 55–64. 2017. Online: https://doi.org/10.19062/2247-3173.2017.19.1.5

[24] Békési B., „UAV fejlesztések, új alkalmazások," in *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek.* Palik M. szerk. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013. 299–315.
[25] Békési B., „Pilóta nélküli légijárművek jellemzése, osztályozásuk," in *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek.* Palik M. szerk. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013. 65–109.
[26] Békési B., „Az UAV-k jövőbeni fejlesztési irányai," in *XII. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Előadások.* Mesterházy B. szerk. Szombathely, Nyugat-magyarországi Egyetem, 2013. 101–113.
[27] Békési B., „Pilóta nélküli légijármű típusok sárkányszerkezeti megoldásai," in *Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban.* Pokorádi L. szerk. Debrecen, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2013. 122–132.
[28] B. Békési, "Redundancy on Board of UAVs – Energy Systems," in *Proceedings of the 16th International Conference Transport Means 2012,* Kaunas, Lithuania, 2012. 158–161.
[29] Békési B., „UAV-k sárkányszerkezeti megoldásai," *Szolnoki Tudományos Közlemények,* 15. évf. 1–11. 2011.
[30] Békési L., Békési B., „Forgószárnyas pilóta nélküli légijárművek," *Economica,* 6. évf. 2. sz. 88–98. 2013.Online: https://doi.org/10.47282/ECONOMICA/2013/6/2/4421
[31] Békési L., Békési B., „Merevszárnyú pilóta nélküli légijárművek (UAV-k)," *Szolnoki Tudományos Közlemények,* 17. évf. 7–34. 2013.
[32] Békési L., „A pilóta nélküli légijárművekkel kapcsolatos alapismeretek," *Repüléstudományi Közlemények,* 28. évf. 3. sz. 159–176. 2016. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2016_3/2016-3-11-0354_Bekesi_Laszlo.pdf
[33] HVG, *Bemutatta az új drónt az Amazon, amelyik 30 perc alatt házhoz viszi a csomagot.* HVG, 2019. Online: https://hvg.hu/tudomany/20190606_amazon_prime_air_dron_csomagszallitas
[34] C. Tucker, *Bruchsal-based Volocopter extends its Series C to €87 million to pioneer air taxi services.* EU-Startups, 2020. Online: www.eu-startups.com/2020/02/bruschal-based-volocopter-extends-its-series-c-to-e87-million-to-pioneer-air-taxi-services/
[35] Palik M. szerk., *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek.* Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013. 7–13. Online: www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/UAV_handbook_Secon_edition.pdf
[36] G. Reim, *Dynetics X-61A Gremlins makes first flight, but destroyed after parachute fails.* Flight Global, 2020. Online: www.flightglobal.com/military-uavs/dynetics-x-61a-gremlins-makes-first-flight-but-destroyed-after-parachute-fails/136220.article
[37] Varga S., *Ehang és Volocopter újra nagyot léptek a városi légi mobilitás fejlesztésében.* Repülni Jó, 2020. Online: www.repulnijo.hu/ehang-es-volocopter-ujra-nagyot-leptek-a-varosi-legi-mobilitas-fejleszteseben/
[38] Kotulyák T., *Első repülése végén összetört a legújabb pilóta nélküli katonai drón.* AIRPortal, 2020. Online: https://airportal.hu/elso-repulese-vegen-osszetort-a-legujabb-pilota-nelkuli-katonai-dron/
[39] Gajdács L., Major G., „Az UAV alkalmazásának kockázatai a biztonságtechnika területén," *Repüléstudományi Közlemények,* 30. évf. 2. sz. 101–112. 2018.
[40] P. J. Calhoun, *Gremlins.* DARPA. Online: www.darpa.mil/program/gremlins

[41] Autopro, *Hatalmas hazai siker: itt az első hidrogén üzemanyagcella meghajtású repülő.* AutoPro, 2020. Online: https://autopro.hu/trend/hatalmas-hazai-siker-itt-az-elso-hidrogen-uzemanyagcella-meghajtasu-repulo/266769
[42] K. Mizokami, *How the U.S. Air Force turns an F-16 Fighter into a drone.* Popular Mechanics, 2019. Online: www.popularmechanics.com/military/aviation/a29847417/f-16-drone/
[43] I4 Technológiai Központ, *Ipar 4.0 – Negyedik ipari forradalom.* Online: www.ipar4.bme.hu/ipar-4-0/#page-content
[44] Palik M., Major G., Kiss B., „Migration from bird's eye view," *Repüléstudományi Közlemények,* 29. évf. 3. sz. 189–202. 2017.
[45] Kiss B., Major G., Légből kapott segítség a COVID-19 ellen. in *Repüléstudományi Szemelvények,* 2021. (megjelenés alatt)
[46] Major G., „A pilóta nélküli légijármű rendszerek használata az elektronikai hadviselésben," *Repüléstudományi Közlemények,* 29. évf. 3. sz. 301–316. 2017.
[47] Major G., „Does an autonomous drone return home at all time?" *Repüléstudományi Közlemények,* 30. évf. 2. sz. 275–284. 2018.
[48] McKinsey Global Institute, *Artificial intelligence in the United Kingdom: Prospects and challenges.* 2019. Online: https://tinyurl.hu/QVt4/
[49] HungaroControl Mydronespace, *Orvosi drónok.* Online: https://mydronespace.hu/aktualitasok/orvosi_dronok
[50] Óvári Gy., Békési B., Fehér K., „Az elektromos meghajtású repülés lehetőségei," in *XVIII. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia.* Pozsgai A., Puskás J. szerk. Szombathely, ELTE Savaria Egyetemi Központ, 2020. 23–33. Online: http://ojs.elte.hu/index.php/tmgank/article/view/672/579
[51] Airforce Technology, *Russia's top long-range attack drones.* 2020. Online: www.airforce-technology.com/features/russias-top-long-range-attack-drones/
[52] sUAS News, *Silent falcon UAS technologies offer mission selectable capabilities to solar/electric suas aircraft.* 2020. Online: www.suasnews.com/2020/02/silent-falcon-uas-technologies-offer-mission-selectable-capabilities-to-solar-electric-suas-aircraft/
[53] Szegedi P., Békési B., "Sensors on board of the Unmanned Aerial Vehicles," In *Proceedings of 19th International Scientific Conference Transport Means,* Kaunas, 2015. 219–222.
[54] Szegedi P., Békési B., Az UAV-on alkalmazható szenzorok, in *XIV. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia. Előadások.* Mesterházy B. szerk. Szombathely, Nyugat-magyarországi Egyetem, 2015. 175–182. Online: http://publicatio.nyme.hu/613/1/TTK_14_Nemzetkozi_Konf_Eloadasok_201500516.pdf
[55] Bodnár Zs., *Ultrakönnyű napelemes óriásdrón vizsgálja nemsokára a klímaváltozást.* Qubit, 2019. Online: https://qubit.hu/2019/01/14/ultrakonnyu-napelemes-oriasdron-vizsgalja-nemsokara-a-klimavaltozast
[56] J. Trevithick, *Watch Russia's S-70 unmanned combat air vehicle fly with an Su-57 for the first time.* The Drive, 2019. Online: www.thedrive.com/the-war-zone/30053/watch-russias-s-70-unmanned-combat-air-vehicle-fly-with-an-su-57-for-the-first-time
[57] Volocopter, *We bring urban air mobility to life.* Online: www.volocopter.com/en/

Evolution of Unmanned Aircraft (UAV)

The kind of aircraft in the title is undoubtedly one of the most dynamically evolving areas of aviation and is potentially a harbinger of new flight technologies, procedures, and the task systems and solution tactics they can solve. Only in the last few years have these aerial robots emerged from the shadows, but in fact they have been used successfully for decades. It can be seen that these are the years of 'wing-breaking', as there is currently no scientist on this Earth to predict the full repertoire. In the following publication, the authors show how the appearance, importance, perception, significance and role of dynamically evolving unmanned aerial vehicles can take place in the civilian and military environments, to what extent this type of change is in effect and to what extent this exponential progress can be sustained. From the article, the reader can learn about the energy source from which they can cover the required propulsive force by aerial robots, which are getting farther and higher, and are realising this more and more quickly, transporting many times their own mass.

Keywords: *unmanned aerial vehicle systems, drone, UAV drive, possibilities of use, military specifications, environmentally friendly UAV technology*

Major Gábor alezredes, tanársegéd Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék major.gabor@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2927-127X	Gábor Major Lieutenant Colonel, Assistant Lecturer University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems major.gabor@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2927-127X
Csóré Attila BSc-hallgató Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék csoreattila19@gmail.com orcid.org/0000-0002-2892-5166	Attila Csóré BSc student University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems csoreattila19@gmail.com orcid.org/0000-0002-2892-5166

Tartalom

Vas Tímea, Békési Bertold, Sári János, Kele Katalin, Magyar Martin, Szabó Richárd: ***A mesterséges intelligencia alkalmazhatósága a modern kori repülésben*** **5**

Petra Kovács: ***Women serving in the Royal Air Force (1938–1944)*** **19**

Sándor Zsolt, Pusztai Máté: ***A hazai pilóta nélküli légijármű-rendszerekre vonatkozó szabályozás EU-s jogszabályoktól való eltéréseinek bemutatása*** **27**

Felkai Péter: ***Az űrhajósok is karanténban voltak*** **39**

Zoltán Dudás: ***Interpretations of Human Error in Aviation*** **49**

Bali Tamás: ***A hazai légi kutatás-mentés átalakulása a H145M helikopter hadrendbe állításával*** **59**

Major Gábor, Tamás Miklós: ***Az atomerőművek drónokkal szembeni védettsége*** **69**

Sándor Zsolt, Pusztai Máté: ***A hazai pilóta nélküli légi járművekkel kapcsolatos szabályozás összehasonlítása a többi uniós tagállam gyakorlatával*** **85**

Sári János, Békési Bertold: ***Légi járművek közelségi és figyelmeztető rendszerei*** **97**

Gábor Armand Dávid, Sziroczák Dávid: ***Nagynyomású földgáz mint tüzelőanyag a forgószárnyas repülőgépek világában*** **123**

Békési Bertold, Sári János: ***A kriogenika felhasználhatósága a modern repülésben*** **137**

Gajdács László, Palik Mátyás, Dudás Zoltán: ***Drónok és hagyományos légi járművek közös légtérben történő alkalmazásának repülésbiztonsági kockázatai*** **157**

Csóré Attila, Major Gábor: ***A pilóta nélküli légi járművek (UAV) evolúciója*** **171**